

KERNENERGIE FRIEDLICH GENUTZT

1962

DEUTSCHES ATOMFORUM E. V.

KERNENERGIE - FRIEDLICH GENUTZT

(CIVILIAN NUCLEAR POWER)

Ein Bericht

der US-Atomenergie-Kommission (U S. A. E. C.)

an den Präsidenten der Vereinigten Staaten

November 1962

DEUTSCHES ATOMFORUM E. V.

KERNENERGIE - FRIEDLICH GENUTZT

(CIVILIAN NUCLEAR POWER)

Ein Bericht

der US-Atomenergie-Kommission (U. S . A. E. C.)

an den Präsidenten der Vereinigten Staaten

November 1962

überreicht durch

DEUTSCHES ATOMFORUM e. V., BONN

Kaiserstraße 201 Telefon 2 18 48 / 2 67 57

INHALT

Abbildungen

Tabellen

U.S. ATOMENERGIE-KOMMISSION
Washington 25, D.C.

20. November 1962

Sehr geehrter Herr Präsident:

Ich erlaube mir, anliegend den Bericht zu unterbreiten, der aus der von Ihnen am 17. März 1962 erbetenen "erneuten und gründlichen Prüfung der Rolle der Kernenergie in unserer Wirtschaft" entstanden ist. In der Abfassung dieses Berichtes konnten wir auf Stellungnahmen und Ratschläge der fachlich betroffenen Stellen und Personen innerhalb und außerhalb der Regierung zurückgreifen. Für die Schlußfolgerungen und Empfehlungen des Berichtes übernimmt die Kommission jedoch die alleinige Verantwortung.

Die Kommission hat sich natürlich auf die mit der Erschließung und Ausnutzung der Kernenergie zusammenhängenden Fragen beschränkt und hat keinen Versuch unternommen, abzuschätzen, welche Auswirkungen die großen Forschungsanstrengungen auf die Wirtschaftlichkeit anderer, nichtatomarer Energiequellen oder auf verbesserte Verfahren zur Übertragung beider Energiearten haben könnten. Die vorliegende Studie erhielt indes wesentliche Unterstützung durch Informationen, die vom Innenministerium, der Bundes-Energiekommission und vom Ausschuß für natürliche Energiequellen der staatlichen Akademie der Wissenschaften beigesteuert wurden.

Diejenigen, die an der von Ihnen erbetenen Untersuchung mitgewirkt haben, sind sich darin einig, daß sie zum rechten Zeitpunkt erfolgte. Während die Kommission im allgemeinen Rahmen des 1958 verabschiedeten 10-Jahres-programmes zur Erschließung der Kernenergie für zivile Zwecke folgerichtig vorgegangen ist, steht das Programm nunmehr an der Schwelle, nach welcher das Grundziel erreicht wird, die Kernenergie bis 1968 in den Bereichen der hohen Brennstoffkosten wettbewerbsfähig zu machen. Mit der Zeit wurde allerdings deutlich, daß wir unsere Aufmerksamkeit vielleicht zu lange auf Nahziele gerichtet hatten. Die jetzt vorgenommene Überprüfung läßt erkennen, daß es auf lange Sicht im Interesse des Landes, ja der ganzen Welt liegt, nunmehr mit relativ stärkerem Nachdruck das in wei-

terer Zukunft liegende, schwierige Problem der Brutreaktoren zu behandeln, in welchen nahezu alle unsere Uranium- und Thoriumvorräte ausgenutzt werden können im Vergleich zu dem weniger als 1 % Uranium und dem sehr niedrigen Thoriumanteil, die in den derzeitigen Reaktoren verwertbar sind. Nur durch den Einsatz von Brutreaktoren könnten wir das Problem ausreichender Energievorräte für künftige Generationen wirklich lösen.

Wir glauben, daß die Regierung als zwischenzeitliche Maßnahme ein umfangreiches Forschungs- und Entwicklungsprogramm für neuere Reaktortypen - unabhängig von den Brutreaktoren, deren Ausreifung noch mehrere Jahre dauern wird - aufrechterhalten muß. Nach den Projektierungen würden leistungsstarke Konversionsreaktoren in Verbindung mit Brutreaktoren zur Deckung des im ganzen Lande schnell ansteigenden Strombedarfs benötigt werden. Für die nächsten Jahre ist dieses Regierungsprogramm auch schon deshalb wichtig, weil es von staatlicher Seite die Mittel zur "Überbrückung der Lücke" zwischen Anfangs- und Reifestadium der Kernenergie bereitstellt. Mit dieser interimistischen Hilfe können die bis heute erzielten Erfolge gefestigt und das staatliche Kernenergieprogramm in sinnvoller und zweckmäßiger Weise weitergeführt werden, bis leistungsstärkere und wirtschaftlichere Konverter und dann schließlich Brutreaktoren verfügbar werden.

Ein dynamisches staatliches Kernenergieprogramm kann überdies ohne Beeinträchtigung einer im Wachsen begriffenen Kohleindustrie verfolgt werden; alle unsere Projektierungen deuten in der Tat darauf hin, daß der Kohleverbrauch - selbst bei einer optimistischen Veranschlagung der Atomenergieentwicklung - in den stark expansiven Stromerzeugungsunternehmen in den nächsten 40 Jahren um ein Mehrfaches ansteigen wird.

Man sollte der Tatsache eingedenk sein, daß die USA - im wesentlichen auf Grund eines anfänglichen Optimismus - eine wettbewerbsfähige Industrie für Kernenergieanlagen geschaffen hat, welche derzeitig durch Investitionen überbelastet, andererseits aber in ihrer Kapazität nicht genügend ausgenutzt ist. Dieser Optimismus hat sich als nützlich erwiesen insofern, als dadurch viele tüchtige Fachleute, Herstellerfirmen und Verantwortliche

der Versorgungsunternehmen auf diesem Gebiet tätig geworden sind und als in den Entwicklungsjahren die Unterstützung des Kongresses und seitens der Industrie vorhanden war.

Der Optimismus hat auch einige Schwierigkeiten auf den Plan gerufen insofern, als die Industrie für Atomenergieanlagen - wenn keine neuen Anläufe auf diesem Gebiet gemacht werden - sich wahrscheinlich so weit rückentwickeln würde, daß weniger Hersteller verbleiben, als für eine gesunde wettbewerbsfähige Kernindustrie erwünscht ist. Gücklicherweise liegen die Dinge so, daß nur eine relativ geringe zusätzliche Regierungshilfe notwendig sein wird, um den Bau einer größeren Anzahl von großen Wasser-Leistungsreaktoren sicherzustellen, die in den Gebieten der USA und der Welt, wo Brennstoff teuer ist, wirtschaftlich konkurrenzfähig sein werden. Dies würde die Aufnahme in der Öffentlichkeit fördern, die Kernindustrie gesund erhalten und zur Erzeugung des Plutoniums beitragen, wie es für eine Energiewirtschaft mit Brutreaktoren benötigt wird, sobald diese hinreichend ausgebaut werden kann.

Zusammenfassend (kann gesagt werden:) verspricht die Kernkraft die gewaltigen Energiemengen zu liefern, die unser Volk über viele kommende Generationen benötigen wird, und sie wird wahrscheinlich eine wesentliche Minderung der nationalen Kosten für elektrische Energie ermöglichen.

Die Kommission teilt einhellig die Auffassung dieses Berichtes.

Mit vorzüglicher Hochachtung

Glenn T. Seaborg
Vorsitzender

Der Präsident
der Vereinigten Staaten

Weißes Haus

Anlage

WEISSES HAUS

Washington

17. März 1962

Sehr geehrter Herr Vorsitzender!

Die Entwicklung der Kernenergie für zivile Zwecke berührt sowohl nationale als auch internationale Belange der Vereinigten Staaten. Im Augenblick kommt es besonders darauf an, daß unser inländischer Bedarf an Atomenergie und die Entwicklungsaussichten dafür sowohl von der Regierung als auch von der wachsenden Atomindustrie der USA gründlich verstanden werden, die wesentlich an der Entwicklung der Kerntechnik beteiligt ist. Im einzelnen müssen wir die Grundlage unserer nationalen Energiequellen ausbauen, um das wirtschaftliche Wachstum unseres Volkes zu fördern.

Die Atomenergiekommission sollte daher die Rolle der Kernenergie in unserer Wirtschaft im Zusammenwirken mit dem Innenministerium, der Bundes-Energiekommission, anderen geeigneten Stellen sowie mit der Privatindustrie erneut und gründlich prüfen.

Ihre Untersuchung soll die Ziele, Umfang und Inhalt eines Programmes zur Entwicklung der Kernenergie im Lichte der voraussichtlichen Energiebedürfnisse und -quellen des Landes und der Fortschritte hinsichtlich anderer Mittel der Energieerzeugung klar herausstellen. Sie soll Empfehlungen für die zweckmäßigen Schritte enthalten, damit Entwicklung und Bau der Kernenergievorhaben, sowie Bau der erforderlichen Prototypen, zur rechten Zeit erfolgen. Die heutige fruchtbare Zusammenarbeit zwischen Regierung und Industrie - öffentliche und private Versorgungsbetriebe und Hersteller von Anlagen - sollte natürlich weiter fortgeführt werden.

Nach Abschluß dieser Untersuchung der inländischen Bedürfnisse und Quellen sollte außerdem geprüft werden, in welchem Umfang unser Kernenergieprogramm unsere internationalen Zielsetzungen in den friedlichen Anwendungen der Atomenergie fördern wird. Die Kernkraftwerke, die planmäßig in diesem Jahr in Betrieb genommen werden sollen, sowie die

schon im Betrieb befindlichen dürften ein technisches Erfahrungsgut liefern, auf dessen Grundlage realistische Voraussagen der Zukunft der wirtschaftlich wettbewerbsfähigen Kernenergie in den Vereinigten Staaten möglich sein dürften.

Wie Ihnen bekannt ist, werden zwei größere, inhaltlich verwandte Untersuchungen in Kürze durchgeführt. Die auf meine Bitte hin von der staatlichen Akademie der Wissenschaften durchgeführte Untersuchung über Erschließung und Erhaltung aller unserer nationalen Quellen wird sich insbesondere mit den Energiebedürfnissen und der Ausnutzung der Brennstoffreserven des Landes auf lange Sicht befassen. Die andere, in Kürze von der Bundes-Energiekommission einzuleitende Untersuchung soll die langfristigen Energiebedürfnisse des Landes ermitteln und in großen Zügen Programme für den Ausbau aller privaten und öffentlichen Elektrizitätsunternehmen darlegen, mit denen das starke Ansteigen des Strombedarfes aufgefangen werden kann. Ihre Studie sollte in geeigneter Weise auf diese Untersuchungen inhaltlich abgestimmt werden.

Die derzeitig von der Kommission eingeleiteten umfangreichen und dynamischen Programme zur Entwicklung der Atomenergie sollen während der Zeit Ihrer Untersuchung natürlich fortgesetzt und ggf. verstärkt werden. Ich bitte dringend darum, die Prüfung unverzüglich zu beginnen, und hoffe, daß Sie mir bis zum 1. September 1962 einen Bericht vorlegen können.

gezeichnet
John F. Kennedy

Dr. Glenn T. Seaborg
Vorsitzender
Atom-Energie-Kommission
Washington 25, D.C.

KERNENERGIE FÜR DEN ZIVILBEDARF
BERICHT AN DEN PRÄSIDENTEN DER USA
E I N F Ü H R U N G

Auf Grund der während des 2. Weltkrieges erzielten Erfolge wurde in der Folgezeit weithin anerkannt, daß die Kernenergie bei entsprechender Entwicklung bedeutsame zivile Anwendungen finden könnte. Zusätzlich zu den der wissenschaftlichen Forschung, Medizin, Landwirtschaft und Industrie vorbehaltenen Anwendungen glaubten viele, daß Kernenergie große wirtschaftliche Vorteile in Massenanwendungen wie der Erzeugung elektrischen Stromes bieten könne. Ferner wurde erkannt, obgleich nicht betont, daß sie auf lange Sicht eine wichtige Energiequelle sein würde, deren zeitgerechte Einführung dazu beitragen würde, unsere begrenzten Vorräte an fossilen Brennstoffen für spezielleVerwendungen zu erhalten.

Die Verfügbarkeit reichlicher und wirtschaftlicher Energiequellen auf lange Sicht und die Entwicklung neuer, allgemein anwendbarer Verfahren und technischer Einrichtungen sind Angelegenheiten, die alle Menschen und somit die Regierung angehen. Die Verantwortung der US-Bundesregierung für die friedliche Entwicklung ziviler Nutzungen der Kernenergie auf kurze und lange Sicht innerhalb unseres normalen wirtschaftlichen und industriellen Rahmens wurde vom Kongress klar erkannt im Atomenergiegesetz von 1946 und im Gesetz von 1954 geklärt und ausgeweitet. In Paragraph 1 (Erklärung) des letzteren Gesetzes heißt es:

> "Wird hiermit .... zur Politik der Vereinigten Staaten erklärt, daß ..
>
> ....
>
> "b. die Entwicklung, Nutzung und Überwachung der Atomenergie so zu leiten ist, daß der Weltfrieden gefördert, das öffentliche Wohl verbessert, der Lebensstandard erhöht und der freie unternehmerische Wettbewerb gestärkt wird."

Und in Paragraph 3 (Zweck):

> "Ziel dieses Gesetzes ist die Durchführung der vorstehend dargelegten Maßnahmen durch Schaffung
>
> "a. eines Programmes zur Durchführung, Unterstützung und Förderung von Forschung und Entwicklung im Interesse des größtmöglichen wissenschaftlichen und industriellen Fortschrittes;
>
> ....
>
> "d. eines Programmes, das zu einer möglichst umfassenden Mitwirkung bei der Entwicklung und Nutzung der Atomenergie für friedliche Zwecke in einem Rahmen anregt, der mit der gemeinsamen Verteidigung und Sicherheit sowie mit der Volksgesundheit und -sicherheit in Einklang steht" und
>
> "e. eines Programmes für internationale Zusammenarbeit, um die gemeinsame Verteidigung und Sicherheit zu fördern und um den Partnerstaaten die Vorteile friedlicher Atomenergieanwendungen in dem Rahmen zugänglich zu machen, welchen der Stand der Technik und Überlegungen der gemeinsamen Verteidigung und Sicherheit gestatten."

In vielen Paragraphen dieses Gesetzes und in vielen anderen vom Kongress verabschiedeten Gesetzen werden die vorgenannten Bestimmungen näher aufgeführt sowie Mittel und Vorkehrungen für ihre Durchführung geschaffen.

In Übereinstimmung mit den ihr vom Gesetzgeber übertragenen Aufgaben hat die Atomenergiekommission intensive Forschungs-, Entwicklungs- und Betriebsprogramme durchgeführt, die auf Erschließung der zahlreichen friedlichen Nutzungen abzielen, die in der Kernenergie beschlossen liegen. Unter den Anwendungen befinden sich viele, beispielsweise die von Radioisotopen, bei denen Kernvorgänge spezielle, in einzigartiger Weise nützliche Merkmale aufweisen. Die Hauptanstrengungen richteten sich jedoch auf die Gewinnung großer Energiemengen, in erster Linie zur Bewältigung herkömmlicher Aufgaben oder deren Erweiterungen. Unter den verschiedenen Anwendungen war die der Erzeugung elektrischen Stromes die aus-

sichtsreichste und wurde deshalb besonders energisch verfolgt. Vor allem mit dem Energieprogramm befaßt sich der vorliegende Bericht.

Die Kommission hat ein nationales Programm durchgeführt und gefördert, das zunächst auf die Gewinnung der grundlegenden wissenschaftlichen und technischen Daten abzielte, die zum Nachweis der technischen Durchführbarkeit und Sicherheit der geeigneteren Lösungen der Kernkrafterzeugung benötigt wurden; die zweite Programmphase diente dem Nachweis der tatsächlichen oder potentiellen wirtschaftlichen Durchführbarkeit derartiger Lösungen. Dieses Programm fand aktive Unterstützung sowohl im exekutiven als auch im gesetzgebenden Zweig der Regierung.

In den Anfangsphasen bestand das Programm hauptsächlich aus der Schaffung der technologischen Grundlage. Es baute in erheblichem Maße auf Kenntnissen auf, ja ging aus solchen hervor, die aus anderen Reaktorprogrammen gewonnen wurden, insbesondere Reaktoren zur Herstellung von Plutonium, Schiffsantriebsreaktoren und für wissenschaftliche Zwecke eingesetzte Forschungs- und Versuchsreaktoren. 1953 ließ die Kommission, mit Unterstützung des Gemeinsamen Ausschusses für Atomenergie, ein versuchsweises 5-Jahresprogramm zur Entwicklung von Reaktoren anlaufen, die zur Krafterzeugung für zivile Zwecke geeignet schienen. Der Bau verschiedener experimenteller krafterzeugender Reaktoren wurde auf Geländen der Kommission begonnen, außerdem der Prototyp eines Reaktors für ein Stromversorgungsnetz.[1)]

Die im Jahre 1954 erfolgte Abänderung des Atomenergiegesetzes, durch welche die Mitwirkung der Industrie und die entsprechenden Grundsatzentscheidungen der Regierung angeregt wurden, führte zu einem weiteren Ausbau des Programmes sowohl auf seiten der Regierung als auch der Industrie. Ein bedeutsamer Schritt wurde 1955 getan, als ein Programm unter dem Titel "Power Demonstration" hinzugefügt wurde, in dessen Rah-

---

1) Der von der Kommission in Shippingport, Pa., gebaute und ihr gehörende Reaktor erzeugt Dampf im Kraftwerk eines als Aktiengesellschaft bestehenden Versorgungsunternehmens, welches die Stromerzeugungsanlagen baute und den Reaktor im Auftrag der Kommission betreibt.

men die Kommission und die Industrie gemeinsam mehrere Kernkraftwerke bauten und an Elektrizitätsnetzen betrieben. Gemäß einem Teil dieses Programmes werden die von der Kommission gebauten und ihr gehörenden Prototyp-Reaktoren von den Versorgungsunternehmen betrieben, die den Dampf bezahlen müssen; gemäß einem anderen Programmteil erhalten die Versorgungsbetriebe Forschungs- und Entwicklungsunterstützung bei der Konstruktion und beim Bau ihrer eigenen Reaktoren und während der Dauer von einigen Jahren werden keine Gebühren für die Bereitstellung des der Regierung gehörenden Kernbrennstoffes erhoben.

Im Jahre 1958, in welchem das experimentelle 5-Jahresprogramm auslief, veröffentlichte der Gemeinsame Kongressausschuß für Atomenergie einen durch sein Personal und Beraterhilfe erstellten Bericht, in welchem Zielsetzungen für ein erweitertes Programm und verschiedene zur Förderung geeignete Maßnahmen empfohlen wurden. In diesem und im darauffolgenden Jahr führte die Kommission eine Reihe eingehender Untersuchungen und Prüfungen in den staatlichen Versuchslabors und in Form von Aufträgen an die Industrie für Kernanlagen durch über die Reaktorpläne, welche als aussichtsreich für die Entwicklung wirtschaftlicher Kernenergie betrachtet wurden. Die Ergebnisse wurden durch Angehörige der Kommission und, in zwei gesonderten Fällen, durch beratende Ausschüsse gründlich analysiert. Aufgrund dieser Studien, Analysen und Empfehlungen veröffentlichte die Kommission eine Reihe von Berichten, die in Fachkreisen als "10-Jahresprogramm" bekannt sind und in denen kurz- und langfristige Ziele festgelegt, die Erhaltung der Energiequellen und internationale Führung behandelt und ein Plan zur Erreichung dieser Zielsetzungen dargelegt wurden. Dies diente der Kommission in der Zwischenzeit als allgemeine Richtlinie.

Mit dem Anlaufen des Programmes "Atome für den Frieden" 1954 und in noch stärkerem Maße seit der großen Internationalen Konferenz zu diesem Thema im Jahre 1955 hat sich die Kommission, in Zusammenarbeit mit dem Außenministerium, inzwischen auf internationaler Ebene sehr aktiv betätigt. Die Vereinigten Staaten spielten die führende Rolle bei der Gründung der Internationalen Atomenergie-Organisation, welche überstaatliche Programme unter ihrer Schirmherrschaft durchführt. Die IAEO wird

mehr und mehr Aufgaben übernehmen in der Anwendung von Schutzmaßnahmen gegen die Zweckentfremdung von Kernstoffen für militärische Ziele sowie Aufgaben zur Aufstellung und Propagierung von internationalen Richtlinien für Sicherheit und Abfallbeseitigung. Die Vereinigten Staaten haben mitgewirkt und Unterstützung geleistet durch formale Abkommen mit internationalen Organisationen wie EURATOM und mit vielen Einzelstaaten. In Westeuropa und seit kurzem auch in Japan bestehen heute beachtliche Kernkraftprogramme, desgleichen in der Sowjetunion. Auch viele der Entwicklungsländer haben ein beträchtliches Interesse an Kernkraft gezeigt.

Auf Grund der verschiedenen Programme für die USA sind nunmehr sechs größere Reaktoren der höher entwickelten Typen erfolgreich im Betrieb an Elektrizitätsnetzen (die beiden größten und ein weiterer ohne Unterstützung der AEC); weitere sieben kleine und mittelgroße Reaktoren werden bis Ende 1963 fertiggestellt sein, einige weitere befinden sich im Bau oder kurz davor.

Die seither gewonnenen Entwicklungs- und Betriebserfahrungen reichen für hinlänglich genaue Abschätzung der künftigen Möglichkeiten aus. Es ist erwiesen, daß die Stromerzeugung mit Kernkraft <u>technisch</u> durchführbar ist, ja sich ohne weiteres erreichen läßt. Der Betrieb von Kraftreaktoren ist zuverlässig und sicher. Im Gegensatz zum anfänglichen Optimismus haben aber die wirtschaftlichen Erfordernisse vielerlei Probleme aufgeworfen - niedrige Investitionskosten mit langer Lebensdauer und verbürgter Zuverlässigkeit in Einklang zu bringen; Herabsetzen der Kosten durch verbesserten Wirkungsgrad; Entwickeln langlebiger und damit wirtschaftlicher Brennstoffe. Bemühungen zur Optimierung wirtschaftlicher Faktoren durch versuchsweises Arbeiten in den Grenzbereichen des technischen Erfahrungsstandes haben, zusammen mit den bei einer neuen und schnell voranschreitenden Technologie stets auftretenden Schwierigkeiten, zu vielen Enttäuschungen und Rückschlägen geführt. Versuche verliefen nicht immer in der beabsichtigten Weise. Viele Bauvorhaben erlitten Verzögerungen und gerieten in Finanzierungsschwierigkeiten. Dadurch wurde die anfängliche Zuversicht auf eine baldige Nutzung der Kernkraft erheblich gemindert, was wiederum dazu führte, daß sich manche Hersteller von Anlagen und Gerät von diesem Gebiet zurückzogen.

Es ist zu begrüßen, daß in den letzten Jahren viele Fortschritte in Richtung auf Lösungen dieser Probleme gemacht worden sind. Erwartungen werden annähernd und in einigen Fällen vollständig erfüllt. Es wird angenommen, daß die Kernenergie an oder nahe der Schwelle ist, an welcher sie mit der herkömmlichen Energie für große Kraftwerke in den Gegenden des Landes konkurrieren kann, wo die Kosten für fossile Brennstoffe hoch liegen. Es bestehen begründete Aussichten für weitere Kostensenkungen, vorausgesetzt, daß ein Programm energisch weitergeführt wird.

Die bisherigen Entwicklungen haben bestätigt, daß die Kernkraft bei weit verbreiteter Anwendung Grund zu bedeutsamen Folgerungen gibt - als ein Mittel zur Erschließung einer großen, neuen Energiequelle; als wirtschaftlicher Vorteil, besonders in Gegenden, wo die Kosten für fossile Brennstoffe hoch liegen; als ein wichtiger Faktor, der zur neuen industriellen Technologie und unserer technischen Führungsrolle in der Welt beiträgt; als ein wesentlich positives Element in unserem Außenhandel und als potentielle Unterstützung der Verteidigungsmittel des Landes. Ihre potentiellen Vorteile lassen sich jedoch nur dann verwirklichen, wenn sie wirtschaftlich attraktiv gemacht werden.

Die Überwindung der wirtschaftlichen Hürde ist das allernächste Ziel. Leider können die dazu geeigneten Reaktoren nur etwa 1 % der Energie verwerten, die in unseren Kernstoffvorräten potentiell verfügbar ist. Zur Ausnutzung des Restes - was unerläßlich ist, wenn die Kernenergie dauerhaften Nutzen haben soll - müssen die moderneren und schwierigeren Reaktoren bis zu einem Stand der Wirtschaftlichkeit heranentwickelt werden. Dies wird eine mühevolle und kostspielige Aufgabe sein.

Dieses Entwicklungsstadium wirft auch eine Reihe von Grundsatzfragen auf. Viele betreffen Kernbrennstoffe. Da sich nunmehr Perspektiven für Anwendungen auf breiterer Ebene eröffnen, erhebt sich zwangsläufig die Frage, ob es wünschenswert ist, das Eigentum an Spezial-Kernbrennstoffen in absehbarer Zeit in private Hand übergehen zu lassen. Bejaht man dies, so erhebt sich die zusätzliche Grundsatzfrage der gebührenpflichtigen Anreicherung des privaten Urans in den Gasdiffusionsanlagen der Regierung, ein

Dienst, den die Privatindustrie für ihre eigenen Zwecke wirtschaftlich nicht zu tragen vermag; auf internationaler Ebene erhebt sich diese Frage in jedem Fall. Entscheidungen müssen getroffen werden hinsichtlich des Programmes der Kommission zur Beschaffung von Rohuran, für welches die Verträge 1966 auslaufen, sowie hinsichtlich der Verlängerung und Anpassung ihres Tarifes der garantierten Preise für das in den nicht der Regierung gehörenden Reaktoren erzeugte Plutonium, der 1963 ausläuft.

Die Zeit ist gewiß reif für eine grundlegende Überprüfung und erneute Beurteilung - hierbei geht es mehr um eine Prüfung der Grundsatzpolitik als um Einzelheiten der technischen Maßnahmen, eine Überprüfung hinsichtlich der zweckmäßigen Orientierung des Kernkraftprogrammes für elektrische Energie, seinem Zeitplan und dem Umfang der Regierungsbeteiligung. Nach diesen Gesichtspunkten wurde der vorliegende Bericht abgefaßt.

- - - - - - - - -

Eine derartige Studie verlangt Spezialkenntnisse in vielen Gebieten, die außerhalb des abgegrenzten Zuständigkeitsbereiches der Atomenergiekommission liegen. Hierunter fallen die derzeitigen und projektierten Sätze des Energiebedarfes, einschl. der elektrischen Energie, unsere Vorräte an fossilen Brennstoffen sowie die wirtschaftlichen Tendenzen in diesen und verwandten Gebieten. Wir haben daher mit anderen Stellen und Gruppen, die in diesen Gebieten sachkundig sind, eng zusammengearbeitet und (deren Fachmeinung) zu einem wesentlichen Anteil übernommen. Wir haben auch Studien und Untersuchungen verwertet, die von anderen durchgeführt wurden oder werden über Themen wie die internationale Wirkung der Kernenergie, Aspekte der Zivilverteidigung und nationalen Sicherheit sowie Probleme der Luftverunreinigung durch Kraftwerke für fossile Brennstoffe. Besonders wertvoll erwiesen sich neuere Berichte, einige darunter in Entwurfsform, die von der staatlichen Akademie der Wissenschaften, vom U. S. Senatsausschuß für Innere und Inselangelegenheiten, vom Allgemeinen Beratenden Ausschuß der Atomkernenergiekommission und von dem beratenden Ausschuß erstellt wurden, der für die U. S. - Politik gegenüber der Internationalen Atomenergie-Organisation eingesetzt ist.

Wertvolle Besprechungen über den Inhalt des Berichtes haben stattgefunden mit dem Haushaltbüro (Bureau of the Budget), dem Amt für Wissenschaft und Technik, dem wissenschaftlichen Beratungsausschuß des Präsidenten, dem Rat der Wirtschaftsberater, dem Innenministerium, der Bundes-Energiekommission, dem Allgemeinen Beratenden Ausschuß und dem gemeinsamen Ausschuß für Atomenergie des Kongresses. Für den Inhalt des Berichtes zeichnet die Atomenergiekommission indes allein verantwortlich.

In den ersten Wochen der Untersuchung wurden mehrere Seminare abgehalten, bei welchen Vertreter der Auftragnehmer-Organisationen der AEC, der verschiedenen Industrien und andere über ihre eignen Pläne der zivilen Energieversorgung referierten.

Ein Verzeichnis der Berichte und Diskussionen sowie der unveröffentlichten Quellen ist als Anlage hier beigefügt.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Bedarf an Kernenergie

Unsere technologische Gesellschaft benötigt reichliche Energiequellen. Die Vorräte an fossilen Brennstoffen sind zwar groß, jedoch nicht unbegrenzt; außerdem sind diese Stoffe besonders wertvoll für diverse Spezialzwecke wie Verkehrswesen, kleinere vereinzelte Heiz- und Kraftwerke sowie als Grundstoffe für chemische Industrieerzeugnisse. Für künftige Generationen müßten angemessene Mengen erhalten bleiben.

Ein Vergleich der geschätzten fossilen Brennstoffvorräte mit Voranschlägen für den steil ansteigenden Energieverbrauch ergibt, daß bei Nichterschliessung anderer Energiearten die leicht abbaubaren Vorräte an billigen fossilen Brennstoffen in spätestens einem Jahrhundert erschöpft sein würden und unsere heute bekannten Gesamtvorräte ungefähr innerhalb weiterer 100 Jahre. In Wirklichkeit müßten wir die Abbaurate durch zunehmenden Rückgriff auf andere Quellen schon lange vor Erschöpfung dieser Quellen verringern.

Unsere Uran- und Thoriumvorräte enthalten vergleichsweise nahezu unbegrenzte Mengen latenter Energie, die erschließbar ist, sofern Brutreaktoren entwickelt werden, welche die fruchtbaren Stoffe Uran 238 und Thorium 232 in spaltbares Plutonium 239 bzw. Uran 233 umzuwandeln. [1] Gelingt diese Umwandlung, werden die Kosten der Kernrohstoffe relativ unwichtig, so daß selbst Quellen sehr geringer Ergiebigkeit wirtschaftlich tragbar werden.

Die Ausnutzung der Kernenergie zur Erzeugung elektrischen Stroms und später Wärme für industrielle Verfahren und andere Zwecke ist technisch durchführbar und wirtschaftlich vertretbar. Zusätzlich zu ihrer späteren Bedeutung als ein Weg zur Ausnutzung eines großen neuen Energievorrates bietet die Kernkraft für elektrische Zwecke auch bedeutsame Möglichkeiten in einer näheren Zukunft; sie trägt zu einer wesentlichen Herabsetzung der Stromerzeugungskosten bei, besonders in Gegenden, wo die Kosten für fossilen Brennstoff hoch liegen; sie trägt in bedeutendem Maße zur neuen industriellen Technologie und unserer technischen Führungsrolle in der Welt bei; sie ist ein wesentliches positives Element in unserem Außenhandel und potentiell ein Mittel zur Stärkung unserer nationalen Verteidigung.

In Anbetracht des Vorstehenden sind wir zu dem Schluß gelangt, daß die Kernenergie einen bedeutsamen und letzlich lebenswichtigen Beitrag zur Deckung unseres langfristigen Energiebedarfes leisten kann und sollte und insbesondere, daß die Entwicklung und Ausnutzung der Kernenergie zur Elektrizitätserzeugung auf kurze und auf lange Sicht eindeutig im Interesse des Landes liegt und energisch vorangetrieben werden sollte.

---

1) Der in der Natur vorhandene leicht spaltbare Stoff beschränkt sich auf Uran 235, welches nur 0,7 % des normalen Urans ausmacht. Die in diesem Isotop des bei den annähernd heutigen Kosten abbaubaren Urans enthaltene Energie bildet nur einen kleinen Bruchteil der in unseren fossilen Brennstoffvorräten enthaltenen Energie. Glücklicherweise können die sogenannten "fruchtbaren" Isotope, nämlich Uran 238 (das den übrigen Anteil des normalen Urans bildet) und Thorium 232 (das praktisch das gesamte normale Thorium bildet) durch Neutronenabsorption in einem Kernreaktor in spaltbares Plutonium 239 und Uran 233 umgewandelt werden.

Die Rolle der Bundesregierung

Die technologische Entwicklung der Kernenergie ist teuer. Reaktoren bilden umfangreiche Anlagen und die Betriebseinheiten sind, selbst bei einer maßstäblich verkleinerten Versuchsanordnung, zwangsläufig groß und kostspielig. Des weiteren dient die Kernenergie nicht zur Deckung eines bisher unerfüllten Bedarfes, sondern ist in ihren Absatzmöglichkeiten von rein wirtschaftlichen Vorteilen abhängig, bei denen die Investitionen für die Entwicklung nur langsam amortisiert werden. Infolgedessen hätte es sich die Ausrüstungsindustrie nicht leisten können, ein Programm aus eigener Initiative durchzuführen. Die Regierung muß gewiß eine Rolle dabei spielen.

Eines der ersten Ziele wäre, ein Stadium zu erreichen, von welchem ab die Industrie, mit entsprechender Förderung und Unterstützung, Kernkraftanlagen zu liefern vermag, deren Wirtschaftlichkeit die Versorgungsunternehmen zum Einbau solcher Anlagen auf eigene Kosten anregen würde. Wenn dies erreicht ist, sollte sich die Regierung der weiteren Entwicklungen für Fernziele widmen und der Industrie die Aufgabe überlassen, an Verbesserungen für die nähere Zukunft zu arbeiten. Mit Erreichung der technologischen Reife sollte der Übergang auf die Industrie allmählich vollzogen sein.

Mithin besteht die der Regierung zukommende Rolle darin, die Erschließung und den Nachweis der technischen Möglichkeiten so einzuleiten, daß wirtschaftliche Faktoren die industriellen Anwendungen im öffentlichen Interesse fördern und zur Bildung einer sich selbst tragenden und wachsenden Kernkraftindustrie führen.

Derzeitige Lage

Demzufolge hat die Atomenergiekommission, in Übereinstimmung mit der nationalen Politik und den ihr durch das Atomenergiegesetz übertragenen Obliegenheiten ein energisches Programm durchgeführt und gefördert, das auf die Entwicklung und weitverbreitete Nutzung der Kernenergie für zivile Zwecke, insbesondere der Stromerzeugung mittels Kernkraft, gerichtet ist.

Für das zivile Energieprogramm sind bis heute von der AEC etwa 1.275 Milliarden Dollar ausgegeben worden.[1] Diese Tätigkeit umfaßt sowohl Forschung und Entwicklung als auch ein Programm zur Demonstrierung der Energieerzeugung sowie Unterstützung beim Bau und Betrieb von Reaktoren an Elektrizitätsnetzen. Verschiedene Reaktortypen stehen in der Entwicklung. Am weitesten sind die Konversionsreaktoren entwickelt, die weniger spaltbare Substanz erzeugen als sie verbrauchen; viel weniger entwickelt sind die Brutreaktoren, die mehr spaltbares Material erzeugen, als sie verbrauchen.

In einem Teil des Demonstrationsprogrammes werden die von der Kommission gebauten und ihr gehörenden Prototyp-Reaktoren von Versorgungsunternehmen betrieben, die den Dampf bezahlen; gemäß einem anderen Programmteil erhalten die Versorgungsunternehmen Forschungs- und Entwicklungsunterstützung bei der Konstruktion und beim Bau ihrer eigenen Reaktoren und der in Händen der Regierung befindliche Kernbrennstoff wird ihnen für mehrere Jahre unentgeltlich zur Verfügung gestellt. Sechs größere Reaktoren, deren Typen mit am weitesten entwickelt sind, befinden sich im erfolgreichen Betrieb an Versorgungsnetzen (die beiden größten ohne AEC-Unterstützung); sieben weitere werden bis Ende 1963 fertiggestellt sein; einige weitere sind im Bau bzw. kurz davor.

Die Erfahrungen haben gezeigt, daß die Stromerzeugung mittels Kernenergie technisch ohne weiteres erreicht werden kann, jedoch sind Schwierigkeiten bei der Entwicklung der technischen Grundlagen aufgetreten, die mit den herkömmlichen Energieerzeugungsmethoden wirtschaftlich in Wettbewerb treten könnten. Allerdings sind diese Schwierigkeiten in den letzten Jahren schrittweise überwunden worden.

Bestimmte Klassen von Leistungsreaktoren, insbesondere die wassergekühlten Konverter, die gesättigten Dampf erzeugen, haben nunmehr ein Entwicklungsstadium erreicht, wo sie mit der herkömmlichen Energie in Großanlagen in Gegenden konkurrenzfähig werden, in denen die herkömmlichen Brennstof-

---

1) Nach unseren Schätzungen hat die Industrie aus eigenen Mitteln etwa 500 Millionen Dollar, hauptsächlich für Anlagen und Ausrüstungen, aufgebracht.

fe (Kohle und Öl) teuer sind. Mit den sich anbahnenden Verbesserungen werden die Konkurrenzgebiete wesentlich ausgedehnt.

Technische Gesichtspunkte

Den Sattdampf-Reaktoren wohnen jedoch bestimmte Grenzen inne. Sie erzeugen einen gesättigten Dampf relativ niedriger Temperatur, was ihren Wirkungsgrad einschränkt und den Einsatz großer, teurer Turbinen verlangt; sie sind nur schwach wirksame Konverter. [1] Aus diesen Gründen wurden Pläne für andere Konverterarten, die mit anderen Moderatoren und Kühlmitteln arbeiten und eine höhere Wirtschaftlichkeit und Brennstoffnutzung versprechen, intensiv geprüft und zeigen ermutigende Ergebnisse; bei einigen scheint die Konkurrenzfähigkeit in Bälde gewährleistet. Bei allen diesen handelt es sich um "thermische" [2] Reaktoren. Hierunter fallen der "Spektralverschiebungs"-Reaktor, der Hochtemperatur-Reaktor mit Gaskühlung und der Natriumgraphitreaktor. Diese weisen alle relativ hohe Wirkungsgrade auf und sind in ihrer Wirtschaftlichkeit vielversprechend. Bei den ersten beiden sind die Konversionsverhältnisse ausgezeichnet, sie könnten sogar schließlich als Brüter im Thorium-Uranzyklus ausgelegt werden. [3] Der Natriumgraphitreaktor vermag ziemlich hohe Temperaturen zu erreichen, verfügt über gute Sicherheitscharakteristiken und trägt bei zur Entwicklung

---

1) Sie wandeln 0,5 bis 0,7 mal soviel Substanz um, als sie verbrauchen. Durch Mehrfachanordnung wird die schließlich verfügbare Energie verdoppelt bis verdreifacht.

2) In einem "thermischen" Reaktor werden die meisten Spaltungsneutronen gebremst (moderiert), ehe sie mit den Kernsubstanzen in Wechselwirkung treten; dies wird durch viele Kollisionen mit leichten Kernen wie Wasserstoff (in Wasser oder organischen Verbindungen), Kohlenstoff (in Graphit) oder Beryllium erreicht. In einem "schnellen" Reaktor wird nur wenig oder keine Bremsung angewandt, so daß die meisten Neutronen ihre hohe Energie und Geschwindigkeit beibehalten, mit welchen sie im Spaltungsprozeß ausgestoßen wurden. "Zwischen"-Reaktoren liegen zwischen diesen Arten.

3) Siehe Fußnote, Seite 9

der für die schnellen Brüter erforderlichen technischen Grundlagen der Verwendung von flüssigem Natrium. Der mit Schwerwasser moderierte Reaktor bietet ebenfalls die Aussicht hoher Konversionsverhältnisse, die derzeitigen Konstruktionen sind indes wirtschaftlich nicht so attraktiv wie die anderer U. S. -Typen. Der organisch gekühlte und moderierte Reaktor könnte zur Wärmeerzeugung in der Verfahrenstechnik wertvoll sein. Einige dieser Reaktoren dürften während der nächsten Jahre bis in ein Prototypstadium entwickelt werden und einige dürften bis kurz nach 1970 voll betriebsbereit sein. Die Inbetriebnahme dieser Reaktortypen wird die Industrie anspornen, die Betriebserfahrungen vermehren und das für das Brüterprogramm benötigte Plutonium erzeugen helfen.

Obwohl viele technische Fortschritte erzielt worden sind, haben die Brutreaktoren noch nicht ein wirtschaftlich nutzbares Entwicklungsstadium erreicht. Selbst wenn sie es erreichen, so können sie - zumindest anfänglich - nicht schnell genug neue Substanzen als Brennstoff für neue Kraftwerke in Mengen herstellen, um den Anteil der Kernkraft unter den Energiequellen des Landes für Elektrizität ansteigen zu lassen. Selbst nachdem Brüter verfügbar werden, muß daher ein Teil der Anlagen mit Uran 235 solange gespeist werden, bis die Brüter, durch verbesserte Brutwirkungsgrade und Rückgänge im relativen Ansteigen des Stromverbrauches, sich selbst versorgen können. Bei den thermischen Reaktoren, die aus Thorium U-233 erzeugen, kann der Bedarf dadurch gedeckt werden, daß U-235 in einigen anstelle von U-233 auf Kosten des erzeugten Brennstoffes ersetzt wird. Ein ähnliches Verfahren wäre indes unwirtschaftlich in den "schnellen" Reaktoren, die zum Brüten des Plutoniums notwendig sind. Im Übergangsstadium, das viele Jahrzehnte andauern wird, werden daher die sowohl Plutonium verbrauchenden als auch herstellenden schnellen Brutreaktoren durch thermische Konverter ergänzt, welche U-235 verbrennen und Plutonium in einem langsameren Rhythmus erzeugen. Mit dieser Notwendigkeit steigert sich auch der Wunsch nach moderneren Konvertern und zwar einerseits aus wirtschaftlichen Gründen und andererseits, weil es wichtig ist, daß Brüter und Konverter eine gesamte Netto-Brutkapazität annähernd erreichen, solange noch relativ billige Brennstoffvorräte vorhanden sind.

Nach unserer Auffassung ist eine als wirtschaftlich anzusprechende Kernenergie so nahe greifbar, daß es nur geringer zusätzlicher Anstöße bedarf, um ihre erwünscht frühe Übernahme durch die Versorgungsbetriebe einzuleiten. Wenn dies einträte, würden die normalen Wirtschaftsvorgänge, nach unserer Auffassung, zu einer schnellen Expansion führen. Die von der Regierung vorgenommenen Investitionen würden um ein Mehrfaches durch die Industrie vergrößert. Die Gerätehersteller könnten die größeren technischen Entwicklungen finanzieren und damit den künftigen Bedarf an Regierungsbeteiligung verringern.

Durch Weiterführen der gegenwärtigen Anstrengungen der Kommission, mit einer geringen Ausweitung zur Förderung des Demonstrationsprogrammes sowie unter Berücksichtigung der zum Propagieren von Brutreaktoren notwendigen Programmänderungen, würde - unseres Erachtens - die Industrie den erforderlichen Ansporn zum Bau einer größeren Zahl großer Reaktoren in nächster Zukunft erhalten, würde die Kernenergie in den Jahren nach 1970 in den meisten Teilen des Landes auf einen Stand der Wettbewerbsfähigkeit mit konventioneller Energie gebracht und würden Brutreaktoren nach 1980 wirtschaftlich attraktiv.

Unter solchen Verhältnissen rechnen wir damit, daß die Kernenergie bis zum Ende des Jahrhunderts das Ansteigen des gesamten Energiebedarfes auffangen und die Hälfte der erzeugten Energie liefern würde. [1] Ein derartiger, in das nächste Jahrhundert reichender Ausbau würde ein bedeutsamer Schritt in der Erhaltung fossiler Brennstoffvorräte sein und keine Schwierigkeiten in der Versorgung mit anderen Kernbrennstoffen hervorrufen, es sei denn, daß die Entwicklung von Brutreaktoren wesentlich mehr als nach unseren Voraussagen hinter der der Konverter hinterher liefe.

---

1) Da der Gesamtverbrauch an elektrischer Energie nach den Schätzungen der Bundes-Energiekommission im gleichen Zeitraum um das Zehnfache anwachsen wird, würde der Verbrauch an fossilen Brennstoffen für diese Zwecke noch um das Vier- bis Fünffache ansteigen.

Bei vorsichtiger Schätzung der Kosten wird damit gerechnet, daß der wie oben projektierte Einsatz der Kernenergie gegen Ende des Jahrhunderts eine Einsparung von insgesamt etwa 30 Milliarden Dollar [1/] an Energieerzeugungskosten erbringen würde. Pro Jahr würde diese Einsparung 3 bis 5 Milliarden Dollar ausmachen. Es gäbe keine Gebiete mehr, wo der Strom teurer wäre, denn bei Wegfall der erheblichen Ausgaben für den Herantransport der Brennstoffe stellen sich die Kosten der Kernenergie überall ziemlich gleich. Für Gebiete, in denen fossile Brennstoffe teuer sind, wäre dies ein wirtschaftlicher Segen; mit der Steigerung ihrer Wettbewerbsfähigkeit würde außerdem das Industriepotential des gesamten Landes gehoben.

In einem umfassenderen Sinne würde Gesundheit und Lebensfähigkeit unserer Industrie und unserer gesamten Wirtschaft durch Einführung der Kernenergietechnik in großem Maßstabe gestärkt. Der technische Fortschritt würde die Raumforschung und militärische Programme fördern und andere zusätzliche Vorteile mit sich bringen. Unsere internationale Führungsrolle auf diesem Gebiet bliebe gewahrt und käme unserem Ansehen und unserem Außenhandel zugute. Die Kernenergie könnte außerdem unsere Verteidigungslage stärken; bei einem nationalen Notstand belastet sie nicht das Verkehrswesen; weiterhin könnte der aus Sicherheitsgründen erforderliche Einschluß im Bedarfsfalle ohne oder mit nur geringen Kosten in unterirdischen Anlagen erfolgen, durch deren Errichtung die Kraftwerke gegenüber nuklearen Angriffen unempfindlicher gestaltet würden.

Ein stark verringertes Programm würde einschneidende Abstriche an diesen Vorteilen nach sich ziehen. Eine allzu starke Bremsung könnte zur Folge haben, daß erhebliche Teile des heutigen kerntechnischen Leistungsstandes der Industrie verlorengehen und der Zeitpunkt dadurch hinausgeschoben wird, zu welchem sie einen Großteil der Entwicklungskosten übernehmen könnte.

1/ Bei einem Zinssatz von 5 % würden diese Einsparungen auf einen nicht mitgerechneten Wert von etwa 10 Milliarden Dollar bis 1970 anwachsen.

Andererseits glauben wir nicht, daß eine größere Steigerung des Gesamtprogrammes der Kommission angezeigt ist. Insgesamt betrachtet reicht die Unterstützung der mit Entwicklungsarbeiten befaßten Wissenschaftler und Ingenieure ungefähr aus und es wäre angesichts der anderen Bedürfnisse des Landes nicht gerechtfertigt, die personelle Kapazität auf diesem Gebiet merklich zu erhöhen.

Zusammenfassend sind wir zu dem Schluß gelangt, daß das Kernenergieprogramm beschleunigt fortgesetzt werden sollte. Die Unterstützung durch die Kommission sollte fortgesetzt werden und mit stärkerem Nachdruck die Industrie zur Mitwirkung anspornen. Das Programm sollte sich erstrecken auf (1) den baldigen Bau von Kraftwerken mit Reaktoren der höchsten Konkurrenzfähigkeit; (2) Entwicklung, Bau und Nachweis der Betriebsreife von neuzeitlichen Konvertern, um Wirtschaftlichkeit und Nutzung von Kernbrennstoffen zu verbessern; (3) intensive Entwicklung und den späteren Nachweis der Betriebsreife von Brutreaktoren, welche den langfristigen Bedürfnissen der Nutzbarmachung brütbarer und spaltbarer Brennstoffe genügen.

Andere bedeutsame Vorteile erwachsen aus der Entwicklung wirtschaftlicher chemischer Wiederaufbereitungsverfahren, durch welche nützliche spaltbare und brütbare Substanzen aus gebrauchten Spaltstoff-Elementen aufgefangen und die Spaltprodukte herausgelöst werden. Ein weiteres wichtiges Arbeitsgebiet bildet die endgültige Speicherung oder Beseitigung der radioaktiven Spaltprodukte, die bei Vorhandensein einer umfangreichen Energieindustrie in großen Mengen anfallen.

Vorrangig ist der Gesichtspunkt der Sicherheit: Es muß nicht nur eine den Anlagen innewohnende Sicherheit gewährleistet sein, sondern deren Vorhandensein muß vor den Augen der Öffentlichkeit eindeutig bewiesen werden. Durch ausreichende technische Verbesserungen und durch Sammeln einschlägiger Erfahrungen dürften die heute noch für viele Standorte geltenden Sperrvorschriften allmählich aufgehoben werden können, so daß es möglich wäre, Kraftwerke in größerer Nähe der Verbrauchszentren anzulegen.

Mögliches Bauprogramm

Ein gemischtes Bauprogramm für die nächsten 12 Jahre könnte Folgendes umfassen: (1) Bau und Inbetriebnahme von 7 oder 8 Prototyp-Leistungsreaktoren, etwa eine Hälfte davon als neuzeitliche Konverter und die übrigen als Brutreaktoren; der größte Kostenanteil hierfür würde wahrscheinlich von der AEC getragen; (2) bedarfsweise Unterstützung der Industrie beim Bau von 10 bis 12 vollmaßstäblichen Kraftwerken, deren Konstruktion im Zuge der Zeit von Einheit zu Einheit verbessert würde; hierbei ist zu hoffen, daß die Industrie gleichzeitig alle Kosten vieler weiterer Kraftwerke bewährter Konstruktion tragen wird.

Dieses Programm würde natürlich seinen Rückhalt finden in Entwicklungsprogrammen, die spezifisch auf modernere Reaktortypen, insbesondere Brüter, abgestellt sind, außerdem jedoch durch Grundlagenforschung und -entwicklung.

Rechtliche, finanzielle und Verwaltungsgesichtspunkte

Besondere Aufmerksamkeit ist verschiedenen rechtlichen, finanziellen und administrativen Fragen zu widmen, darunter (1) Privateigentum an Kernsubstanzen und diesbezügliche Maßnahmen der Preisbildung für Kernbrennstoff und gebührenpflichtige Anreicherung; (2) Maßnahmen, welche die Rohmaterial- und Zulieferindustrien betreffen; (3) Lizenzierung und Vorschriftenerlaß einschl. der Festlegung von Kriterien für die Reaktor-Standortwahl.

Die Kommission hat eine frühzeitige Genehmigung des Privatbesitzes von speziellen Kernsubstanzen empfohlen, um eine freie Entfaltung der normalen wirtschaftlichen Kräfte zu gestatten und wirtschaftliche Verzerrungen auf diesem Gebiet weitgehend zu beseitigen. Zur Vermeidung plötzlicher Störungen sollte das Eigentumsverhältnis erst etwa nach einem Jahrzehnt obligatorisch werden.

Die Kommission ist ferner der Auffassung, daß Maßnahmen einer gebührenpflichtigen Anreicherung ("toll enrichment") oder Gleichwertiges eingeführt werden sollten. Danach könnte die Industrie ihre Rohmaterialien auf dem freien Markt ankaufen, sie in ihren eigenen Anlagen zur Anreicherung vorbereiten und würde die Regierungshilfe nur hinsichtlich der eigentlichen Anreicherung in den Diffusionsanlagen in Anspruch nehmen. Dieser Dienst sollte auch unseren ausländischen Freunden zur Verfügung stehen, und zwar mit entsprechenden Sicherungen gegen Zweckentfremdung für militärische Ziele.

Der von der Kommission festgesetzte Wert des zur Verpachtung oder zum Verkauf bestimmten angereicherten Urans sollte vor und während der Zeit der Überführung in Privateigentum wie heute nach den tatsächlichen Kosten unter entsprechender Berücksichtigung der Abschreibung und anderer indirekter Kosten ermittelt werden. Die Kommission hat empfohlen, die Kaufpreise für Plutonium entsprechend seinem in näherer Zukunft entstehenden Wert als Reaktorbrennstoff festzusetzen. Nach unserer Auffassung wäre eine Preisstaffelung entsprechend dem Gehalt an spaltbaren Isotopen in Betracht zu ziehen. Dieselben Preisbildungsmaßnahmen sollten auch im Ausland bei Ankäufen von Plutonium Anwendung finden, das aus in den USA angereichertem Uran hergestellt würde. Die Verträge der Kommission mit Uranbergbau- und Aufbereitungsbetrieben laufen Ende 1966 aus. Da der Bedarf an neuem Uran für Waffen, die bisher hauptsächliche Verwendung, wahrscheinlich innerhalb des nächsten Jahrzehnts zurückgehen wird, muß die weitere Beschaffung sorgfältig so geplant werden, daß die Uranindustrie während einer eventuellen schwachen Konjunktur, ehe der zivile Energiebedarf erneut eine große Nachfrage schafft, lebensfähig gehalten wird. Im Hinblick darauf plant die Kommission, der Industrie ein "Streck"-Programm anzubieten, demzufolge eine Verpflichtung der AEC zum Ankauf zusätzlichen Materials nach dem 1. Januar 1967 als Anreiz für die Industrie benützt würde, die Auslieferung eines Teiles des derzeitig in Auftrag gegebenen Urans über diesen Zeitpunkt hinaus aufzuschieben. Im Erfolgsfalle würde dieses Programm eine Nivellierung bewirken, dank welcher die Zeitspanne geringer Nachfrage ohne wesentliche Schädigung der Industrie und ohne Entstehen eines unverhältnismäßig großen Überschusses durchgestanden werden könnte.

Die Kommission beabsichtigt, die industrielle Tätigkeit, welche an der Peripherie der Haupt-Ausrüstungsindustrie liegt, weiter und stärker zu fördern. Viele Betriebe, die im kleinen Maßstab anfangen konnten, haben bereits gute Fortschritte erzielt. Es gibt indes einige Aufgabengebiete, beispielsweise die chemische Trennung gebrauchter Brennstoffe, die erst von einem gewissen Umfang ab für die Industrie interessant werden und bei denen vorerst nur ein geringes privates Betätigungsfeld gegeben ist, bis die zivilen Reaktoren längere Zeit im Einsatz gewesen sind. Die Privatindustrie wird stark gefördert, um sich auf diesen Gebieten mit einiger Erfolgsaussicht betätigen zu können. In dem Maße, wie hier eine Privatkapazität entsteht, sollte sich die Kommission aus den der Industrie zukommenden Aufgaben zurückziehen und zur Deckung ihres Eigenbedarfs auf Privatunternehmen zurückgreifen, außer vielleicht in den Fällen, wo es sich um Materialien für die Waffenherstellung handelt.

In der Erkenntnis, daß durch Vereinfachen der Lizensierungsverfahren und Vorschriften die Versorgungsindustrie zur Einführung der Kernenergie stark angeregt wird, haben der Kongreß und die AEC entsprechende Schritte eingeleitet. Ein wichtiger Schritt ist der kürzlich erfolgte Erlaß von Gesetzen, durch welche die Zahl der vorgeschriebenen öffentlichen Sitzungen, in denen die Lizenzvergabe für Reaktoren geprüft wird, erheblich reduziert wird. Die Kommission prüft Möglichkeiten, um ihre eigenen Lizenzierungsverfahren durch Verringern von Umfang und Kompliziertheit der Bearbeitungsgänge zu vereinfachen. Mit zunehmender Betriebserfahrung dürfte auch der für die fachliche Bewertung und Nachprüfung erforderliche Zeit- und Kraftaufwand herabgesetzt werden.

Ziele für die Zukunft

Zur Klarstellung: Grundziel des Kernenergieprogrammes der Kommission sollte sein, die zunehmende Nutzung der Kernenergie zu fördern und zu unterstützen und - was besonders wichtig ist - das Programm in solche Bahnen zu lenken, daß die in den brütbaren Stoffen Uran 238 und Thorium latent vorhandenen ungeheuren Energievorräte ausgenutzt werden.

Die untergeordneten Zielsetzungen können wie folgt zusammengefasst werden:

(1) Nachweis einer wirtschaftlichen Energieerzeugung mittels Kernkraft durch Bau von Kraftwerken mit den derzeit konkurrenzfähigsten Reaktortypen;

(2) Baldige Schaffung einer sich selbsttragenden und wachsenden Kernenergieindustrie, welche die Entwicklungskosten in steigendem Maße übernimmt;

(3) Entwicklung verbesserter Konverterreaktoren und später von Brutreaktoren zur Umwandlung brütbarer in spaltbare Isotope, um das Potential der Kernbrennstoffe vollständig zu erschließen.

(4) Wahrung der technologischen Führungsrolle der USA in der Welt vermittels eines dynamischen nationalen Kernenergieprogrammes und durch geeignete Zusammenarbeit mit befreundeten Staaten sowie deren Unterstützung.

Zur Verwirklichung dieser Ziele muß die Kommission eine positive und dynamische Führungsrolle übernehmen, um einerseits die technischen Ziele zu erreichen und andererseits um die stärkere Beteiligung der Ausrüstungs- und Versorgungsindustrie herbeizuführen, während die Kernenergie in immer größeren Gegenden unseres Landes und der ganzen Welt wirtschaftlich wird.

DER BEDARF AN KERNKRAFT

Kernenergie als Hilfsquelle

Nächst dem Land, dem Wasser und der Luft, ohne die wir überhaupt nicht existieren könnten, stellt die Energie die bei weitem wichtigste unserer irdischen Hilfsquellen dar. Unsere industrielle Gesellschaft wäre ohne sie undenkbar. Die Energie und die anderen drei Hilfsquellen haben miteinander gemein, daß es für sie keinen Ersatz gibt.

Die Gesellschaft in der Jetztzeit ist fast ausschließlich von der Energie abhängig, die aus der Sonne entspringt. Diese ungeheueren Mengen sind über Hunderte von Millionen Jahren in Form fossiler Kohlenwasserstoffe, wie Kohle und Öl, gespeichert worden. Der Speicherungsprozeß schreitet so langsam fort, daß die Auffüllung, bezogen auf die vorhersehbare Menschheitsgeschichte, als vernachlässigbar gering angesehen werden muß. Zwar sind es riesige Vorräte, doch verbrauchen wir diese Stoffe in einem so schnell anwachsenden Maße, daß sie ohne Ergänzung schon innerhalb weniger Generationen sich der Erschöpfung nähern werden.

Die Brennstofflage in den USA ist aus den Abbildungen 1 und 2 ersichtlich, in welchen die künftige Nutzung fossiler Brennstoffe als jährliche Rate und kumulativ auf Grund verschiedener Schätzungen [1)] und, in Abbildung 2, sachverständiger Schätzungen unserer Gesamtreserven dargestellt sind.

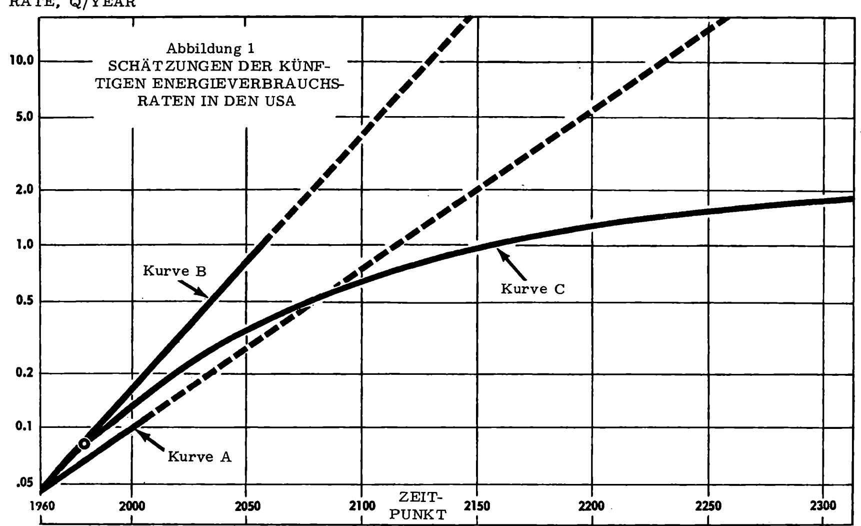
Die in unseren abbaufähigen fossilen Brennstoffen aller Sorten enthaltene Gesamtenergie wird unterschiedlich geschätzt auf Werte zwischen 30 Q[2)] und (Energiestudie des Ausschusses für natürliche Hilfsquellen der Nationalen Akademie der Wissenschaften; nationale Brennstoff- und Energiestudie des U. S. Senats-Ausschusses für Innere und Inselangelegenheiten) und 130 Q (Arbeitsstab für Energiepolitik, Innenministerium) [3)].

---

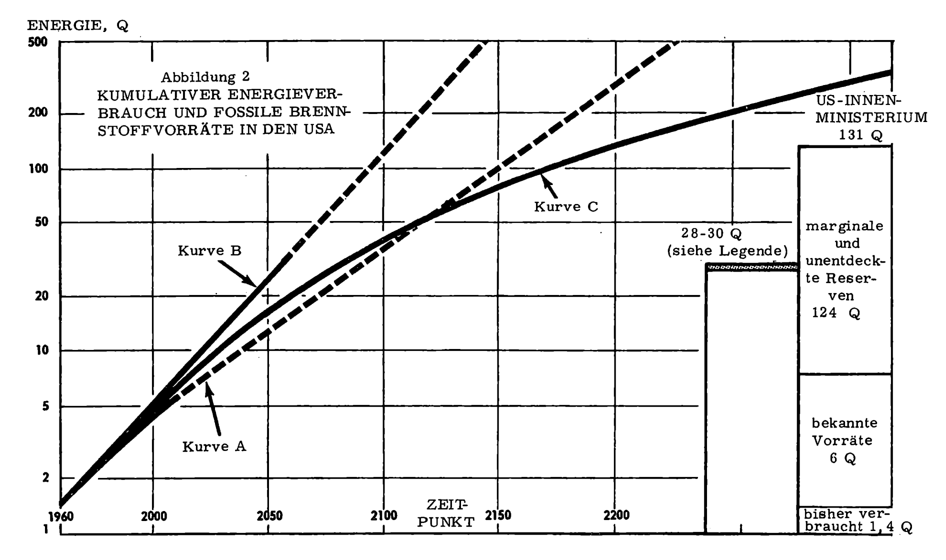
1) Wir haben die Extrapolationen der Autoren gestrichelt weitergeführt; hierbei benutzten wir dieselben mathematischen Formeln wie die Autoren, obschon letztere diesen natürlich keine so langfristige Gültigkeit zuerkannt haben.

2) Als Ausdruck für die gesamten Energiereserven oder des kumulativen Enerverbrauches wird zur Vermeidung von unhandlichen Zahlen eine sehr große Einheit Q (für Quintillion) verwendet, welche 10^{18} britischen Wärmeeinheiten (BTU) oder $0,25 \times 10^{18}$ Kilo-Kalorien Energie entspricht. Dies entspricht der Energie von ca. 40 Milliarden Tonnen einer durchschnittlich hochwertigen Kohle. Die Vereinigten Staaten verbrauchen derzeitig etwa 1/20 Q pro Jahr.

3) Im Geological Survey Bulletin 1136 "Coal Reserves of the United States" wurden die in den USA verbleibenden abbaufähigen fossilen Brennstoffvorräte auf 25, 7 Q geschätzt (Seite 98).



KURVE A stellt eine Extrapolation der Erfahrungen der letzten 50 Jahre dar. Sie beruht auf Abbildung 15 in dem Bericht "Energy Resources" (Energiequellen), der 1962 für den Ausschuß für natürliche Hilfsquellen der U.S. Staatlichen Akademie der Wissenschaften zusammengestellt wurde.
KURVE B stellt eine Exponentialkurve des U.S. -Innenministeriums dar, die durch den Wert O verläuft, der für 1980 in einem Bericht vom 21. September 1962 geschätzt wurde, welcher betitelt ist mit "Report of the National Fuels and Energy Study Group, on an Assessment of Available Information on Energy in the United States, to the Senate Committee on Interior and Insular Affairs."
KURVE C geht von denselben Anfangswerten wie die Kurve B aus, berücksichtigt jedoch die im Text erläuterten Rückgänge in den relativen Zuwachsraten der Bevölkerungszahl und des pro Kopf-Verbrauches.



Die Kurven A, B und C stellen die kumulative Energienutzung entsprechend den Verbrauchsraten in Abbildung 1 dar. Die geschätzten Vorräte an fossilen Brennstoffen sind rechts durch Balken dargestellt. Die Schätzungen von 28-30 Q sind in einem Bericht enthalten bzw. impliziert, der am 21. September 1962 unter dem Titel "Report of the National Fuels and Energy Study Group, on an Assessment of Available Information on Energy in the United States, to the Senate Committee on Interior and Insular Affairs" abgegeben wurde; ferner in dem Bericht 1962 "Energy Resources", der für den Ausschuß für natürliche Hilfsquellen der U. S. Staatlichen Akademie der Wissenschaften angefertigt wurde; die Schätzungen der abbaufähigen Vorräte stammt aus dem Geological Survey Bulletin 1136, Seite 98 (1961).
Das US-Innenministerium hat in einer inoffiziellen Stellungnahme mitgeteilt, daß nach seiner Auffassung aus den von ihm geschätzten 124 Q an unentdeckten und marginalen Vorräten vielleicht 24 Q auf Grund technischer Verbesserungen abgebaut werden könnten; die Kosten hierfür würden um 10-15 % über dem derzeitigen Stande liegen. Der Abbau der übrigen Mengen würde wahrscheinlich zunehmend teurer werden und eine Grenze erreichen, die von der Wirksamkeit neuer technischer Verfahren abhängen dürfte.

Die Hauptursachen für diesen Spielraum sind offensichtlich unterschiedliche Abschätzungen der Menge der Restvorräte (z. B. Kohle in dünnen Adern oder großen Tiefen), unterschiedliche Beurteilung der Durchführbarkeit und Kosten des Abbaues solcher marginalen Vorräte und unterschiedliche Annahmen hinsichtlich des tatsächlich gewonnenen Anteiles; über die Menge der schnell abbaufähigen Vorräte bestehen kaum Meinungsverschiedenheiten. Das Innenministerium geht davon aus, daß aus der von ihm geschätzten Gesamtmenge etwa 6 Q zu den heutigen Kosten mit der herkömmlichen Technologie abgebaut werden können und weitere 25 Q bei um 10 bis 15 % höheren Kosten, sofern die Technologie der bergbaulichen Erschließung und Förderung durch weitere Forschung stark verbessert wird. Die Restmenge würde mit steigender Unzulänglichkeit vermutlich zunehmend teurer in einem Grade, der von der Wirksamkeit neuer technischer Verfahren abhinge.

Obschon unser heutiger Verbrauch von kaum mehr als 0, 05 Q pro Jahr im Vergleich zu den obengenannten Zahlen klein ist, steigt der Verbrauch so schnell, daß er sehr bald nicht mehr vernachlässigt werden kann. Den Schätzungen des künftigen Verbrauches werden bisherige Erfahrungen zugrunde gelegt, um daraus Wachstum der Bevölkerung und den Energieverbrauch pro Kopf abzuleiten. Beispielsweise stellt die Kurve A in den beiden Abbildungen eine Extrapolation der Erfahrungen aus den letzten 60 Jahren dar, in denen die durchschnittliche Zunahme im jährlichen Brennstoffverbrauch sich auf 2, 04 % belief, also eine Verdoppelung alle 30 Jahre stattfand. Das ist wahrscheinlich vorsichtig geschätzt, zumindest für die nächsten Jahrzehnte, denn in der Vergangenheit wäre eine steilere Zunahme zu verzeichnen gewesen, wenn die Energie nicht mit einem stetig gesteigerten Wirkungsgrad genutzt worden wäre, der nun aber auf verschiedenen wichtigen Gebieten sich den theoretischen Grenzen nähert.

Der durch Kurve B dargestellten Schätzung sind jüngere Erfahrungen zugrunde gelegt. Sie stellt eine Extrapolation einer Schätzung für das Jahr 1980 dar, welche in der Studie über nationale Brennstoff- und Energievorräte des U. S. -Senats-Ausschusses für Innere und Inselangelegenheiten aufgestellt wurde; hinsichtlich des relativen Verbrauchsanstieges liegt diese Schätzung in der Mitte zwischen verschiedenen, uns vom Innenministerium

zur Verfügung gestellten Studien. Man kann sie sich vorstellen als zusammengesetzt aus den 1,75 % jährlicher Bevölkerungszunahme während des letzten Jahrzehntes und der jährlichen Zuwachsrate von 1,5 % des pro Kopf-Verbrauches.[1)] Wir halten dies für eine vernünftige Schätzung über die nächsten Jahrzehnte, allerdings dürfte der Bevölkerungsdruck und eine Sättigungstendenz im pro Kopf-Verbrauch in weiterer Zukunft zum Auspendeln kommen. Zur Veranschaulichung haben wir die Kurven C eingezeichnet, in denen der durchschnittliche Rückgang in der relativen Bevölkerungszunahme seit 1850 auf die extrapolierten Bevölkerungszahlen[2)] übertragen und ein willkürlich gewählter Abnahmewert auf die relative Zunahme des pro Kopf-Verbrauches so angewandt wurde, daß dieser alle 100 Jahre halbiert wird. (Der letztgenannte Wert würde immer noch eine Verdreifachung des pro Kopf-Verbrauches im nächsten Jahrhundert bedeuten).

Wie ersichtlich würden verschiedene Kombinationen der Schätzungen von Brennstoffreserven und der kumulierenden Verwendungen zu der Prognose führen, daß wir ohne Nutzbarmachung zusätzlicher Energiearten unsere leicht abbaufähigen billigen Vorräte an fossilen Brennstoffen in 75 bis 100 Jahren und unsere derzeitig bekannten Gesamtvorräte in 150 bis 200 Jahren aufbrauchen würden. Selbst wenn die endgültige Erschöpfung dieser Substanzen durch Einführung annehmbarer Ersatzstoffe für alle Zwecke erträglich gemacht würde, könnte kein plötzlicher Übergang stattfinden. Lange Zeit vor Erschöpfung der fossilen Brennstoffe wären wir gezwungen, ihre Nutzung allmählich zu verringern, nachdem wir ein Maximum durchlaufen haben, das wahrscheinlich innerhalb der Lebenszeit der jetzt lebenden Menschen liegt.

---

1) Die durchschnittliche jährliche Zunahme des pro Kopf-Verbrauches betrug während der letzten 10 Jahre etwa 1 %.

2) Die jährliche Wachstumsrate der Bevölkerung ging von ungefähr 3,5 % pro Jahr um 1850 auf 1,75 % um 1950 herum zurück. Nach der hier benutzten Formel ergibt sich eine Bevölkerungszahl von ca. 320 Millionen im Jahre 2000; bei Anwendung auf sehr lange Zeiträume würde sich die Zahl asymptotisch dem Wert von einer Milliarde nähern.

Die fossilen Brennstoffvorräte der gesamten Welt sind, relativ gesprochen, noch mehr begrenzt. Man schätzt, daß die Vereinigten Staaten, die nur 6 % der Weltbevölkerung stellen, über 30 % der Weltreserven an fossilen Brennstoffen verfügen. [1] Der übrige Teil der Welt verbraucht seine Reserven ungefähr im selben anteiligen Umfang wie wir, er hat aber seinen Verbrauch 2 bis 3mal so schnell vergrößert. [2] Der rapide Ausbau der Technologie in weniger entwickelten Gebieten - die wir zu fördern bestrebt sind - dürfte dieses relative Ansteigen beschleunigen. Sofern wir also keinen Brennstoff ausführen, werden die Vorräte außerhalb der USA wesentlich früher als unsere eigenen erschöpft sein. In jedem Fall gilt wohl als sicher, daß eine Abhängigkeit von ausländischen Vorräten die Erhaltung unserer gesamten inländischen Vorräte an fossilen Brennstoffen nicht wesentlich unterstützen kann. [3]

Die langfristige Perspektive sollte, wenn auch nur in ihren globalen Zügen, zum Nachdenken veranlassen. Im Detail beeindruckt sie noch mehr. Bei vielen wichtigen Anwendungen bieten fossile Brennstoffe spezielle Vorteile, denen die voraussehbaren großmaßstäblichen Ersatzlösungen wie Kernspaltung, Kernverschmelzung oder Sonnenenergie nichts Gleichwertiges, zumindest nicht unmittelbar, entgegenzusetzen vermögen. Solche Ersatzmittel lassen sich beispielsweise nicht unmittelbar anwenden in kleinen mobilen Kraftanlagen wie Verbrennungsmaschinen in unseren Kraftfahrzeugen und Flugzeugen, wenn auch mit der Zeit wirksame Energieumwandler geschaffen werden könnten, die dazu indirekt in der Lage sind. Fossile Kohlenwasserstoffe sind wesentlich für die Eisen- und Stahlindustrie und andere metallurgische Anwendungen. Darüberhinaus bilden diese Kohlenwasser-

---

1) Schätzung aus der Energiestudie des Ausschusses für natürliche Energiereserven der Nationalen Akademie der Wissenschaften.

2) Verbrauchssätze aus den statistischen Veröffentlichungen der Vereinten Nationen "World Energy Supplies", Series J, No. 1 bis 5. Die Schätzungen berücksichtigen die derzeitigen Einfuhrmengen.

3) Diese Feststellung trifft nicht unbedingt im einzelnen Falle, beispielsweise bei Petroleum, zu; Öl bildet indes nur einen kleinen Bruchteil der Gesamtvorräte.

stoffe ein unschätzbares Erbe an komplexen Molekularsubstanzen, deren mögliche Anwendungen wir eben erst zu erkennen beginnen.

Die Schlußfolgerung scheint unausweichlich: Wir sollten mit gebotener Eile die Nutzung fossiler Brennstoffe in den Anwendungsbereichen ergänzen, für welche technisch einwandfreie und angemessen wirtschaftliche Ersatzmittel in einem vertretbaren Maße nutzbar gemacht werden können.[1)]

Wie in der vorstehenden Schlußfolgerung schon angedeutet, beruht die Fähigkeit jeder potentiellen Quelle, unsere gesamte Energieversorgung fühlbar zu ergänzen, auf der positiven Beantwortung zweier Fragen: (1) Gibt es technisch durchführbare und wirtschaftlich vertretbare Möglichkeiten zur Nutzbarmachung der Quelle, und (2) sind die potentiellen Nutzungen und der vorhandene Vorrat groß genug, um quantitativ Bedeutung zu haben? Derartige bejahende Antworten können in der Tat bei bedeutsamen Nutzungen der Kernenergie gegeben werden.

Von den zwei Formen nuklearer Wechselwirkungsprozesse, aus denen gegenwärtig Energie gewonnen werden kann, Kernspaltung und Kernverschmelzung, kann heute nur der erste innerhalb gewollter Grenzen gemeistert werden. Ob Verfahren zur Erzeugung kontrollierter und nutzbarer Fusionsreaktionen ebenfalls entwickelt werden können oder nicht, läßt sich heute noch nicht voraussagen. Aller Wahrscheinlichkeit nach liegen Vorrichtungen für eine nutzbare kontrollierte Kernverschmelzung günstigstenfalls noch weit in der Zukunft und sollten sie zustandekommen, so würden sie nur in extrem großen Anlagen wirtschaftlich tragbar sein. Wir beschränken unsere Darstellung demgemäß auf die Spaltungsreaktion.

Ein Hauptteil unseres Verbrauches an fossilen Brennstoffen dient dem einfachen Zweck der Wärmeerzeugung - Wärme zur Erzeugung von Dampf für den Antrieb von Turbinen, Wärme für die industrielle Verfahrenstechnik,

---

1) Die Kommission hat sich nicht eingehend mit der Nebenfrage der Erhaltung fossiler Brennstoffe durch maßvolleren Verbrauch, beispielsweise indem man zur Verwendung von weniger leistungsstarken und somit weniger kraftstoffressenden Kraftfahrzeug-Motoren anregt, befaßt, obschon sie die Möglichkeiten erkannt hat.

Wärme zum Heizen von Gebäuden. Nun ist die Natur eines Kernspaltungsreaktors dergestalt, daß der größte Teil der Spaltungsenergie letztlich als Wärme auftritt und sich für die gleichen Zwecke einsetzen läßt, wie die aus fossilen Brennstoffen gewonnene Wärme.

Es gibt freilich gewisse Einschränkungen. Ein Charakteristikum der Kernreaktoren ist, daß sie - auch im günstigsten Falle - relativ groß sind und gewöhnlich von massiven Strahlenabschirmungen umgeben sein müssen. Außerdem werden die Einheitskosten der Energie nur bei Einsatz im großen Maßstabe interessant. Infolgedessen beschränken sich die möglichen Anwendungen auf feste Anlagen - oder auf große mobile Einheiten wie Schiffe -, wo örtlich ein großer Bedarf vorhanden ist oder wo eine Energieverteilung sinnvoll stattfinden kann.[1)] Eine weitere Einschränkung, die hoffentlich mit zunehmenden Kenntnissen und Erfahrung entfällt, ergibt sich aus der Tatsache, daß große Reaktoren aus Sicherheitsgründen in ziemlich weiter Entfernung von Bevölkerungszentren aufgestellt werden müssen.

Zwei industrielle Anwendungen der Kernenergie in vollem Maßstabe sind technisch durchführbar - die Erzeugung elektrischer Energie sowie von Wärme für Verfahrenstechnik. Diese Brennstoffnutzungen machen derzeit etwa 20 bis 30 % des Verbrauches an fossilen Brennstoffen in den USA aus, wobei der Anteil der elektrischen Energie schnell ansteigt. Für beide Zwecke ist die Kernenergie wirtschaftlich vertretbar. Die mit Kernkraft erzeugte elektrische Energie ist in der Tat in den Gegenden des Landes, wo Brennstoffe teuer sind, heute schon bei großen Einheiten konkurrenzfähig. Zweifellos könnte sie auch in relativ kurzer Zeit in vielen großmaßstäblichen Anwendungen bei der Verfahrenstechnik konkurrenzfähig werden, würde sie in dieser Richtung energisch entwickelt. In einer ferneren Zukunft können Kernreaktoren in Konzentrationsgebieten auch durchaus als direkte Quelle für Heizzwecke dienen, sofern geeignete Verteilungsmetho-

---

1) Die vorliegende Untersuchung befaßt sich nicht mit Anwendungen wie für die Raumfahrt, wo eine Abschirmung unnötig ist, oder bestimmte militärische Anwendungen, bei denen wirtschaftliche Gesichtspunkte zweitrangig sind.

den geschaffen und die Sicherheit gewährleistet werden. Darüberhinaus kann, sobald es die wirtschaftlichen Gegebenheiten zulassen, die Kernenergie Wärme über ein elektrisches Zwischenglied liefern.

Die Kernenergie vermag somit einen bedeutenden Anteil unseres gesamten Energiebedarfes zu bestreiten. Dies läßt die Frage noch offen, ob unsere Vorräte an Kernbrennstoffen ausreichen, um den gesamten Bedarf, oder einen wesentlichen Anteil davon, über einen langen Zeitraum zu decken. Die Antwort ist kompliziert. Das in der Natur gefundene spaltbare Material beschränkt sich auf Uran 235, welches nur 0,7 % des natürlichen Urans ausmacht. Dieses Isotop aus den bekannten und geschätzten Uranreserven der USA, die bei nur geringfügig höheren Kosten als die heute geförderten hochwertigen Erze abgebaut werden können, liefert eine Spaltungsenergie, die auf weniger als 1 Q geschätzt wird. (Siehe Spalten 1 und 2 der Tabelle I). Wenn dies also unsere einzige potentielle Quelle darstellte, dann wäre ihr Beitrag zu den Gesamtenergiereserven kaum die Entwicklungskosten wert. Aber glücklicherweise ist dies nur ein Teil der Angelegenheit. Ein Reaktor, der außer seinem Spaltstoff Uran 238 oder Thorium enthält, kann zur Erzeugung weiteren Spaltstoffes veranlaßt werden, von welchem ein Teil an Ort und Stelle "verbrannt" wird; der Rest ist wiedergewinnbar als Brennstoff im selben oder in anderen Reaktoren. Die durch diesen Konversionsprozeß entstandenen neuen Spaltstoffe sind Plutonium (aus Uran 238) und Uran 233 (aus Thorium).[1] Weiterhin lassen sich einige Arten von Reaktoren so einrichten, daß sie <u>mehr</u> spaltbares Material erzeugen als sie verbrauchen. Dieser Prozeß wird als "Brüten" bezeichnet.

Statt nur Uran 235 wird durch das Brüten das gesamte Uran und das gesamte Thorium als potentieller Brennstoff erschlossen. Infolgedessen multipliziert man das Potential einer gegebenen Uranmenge mit einem Faktor von 100, da in dem zyklischen Verfahren einige Verluste unvermeidlich sind. Weiterhin macht dieser Faktor die ursprünglichen Abbaukosten des Urans oder Thoriums relativ unwichtig, was sehr wichtig ist, und eröffnet somit Möglichkeiten zur Nutzung der riesigen Mengen von ge-

---

1) Angesichts dieser Möglichkeit werden Uran-238 und Thorium als "fruchtbare"(=brütbare) Substanzen bezeichnet.

TABELLE I

SPALTUNGSENERGIE-GEHALT DER EINHEIMISCHEN KERNBRENNSTOFF-QUELLEN [1)]

Kostenspielraum $ pro lb Oxyd 2)	Energie in U-235, Q		Gesamt-Energie-gehalt, Q	
	Hinreichend sichere Vorräte	Geschätzte Gesamtvor-räte [3)]	Hinreichend sichere Vorräte	Geschätzte Gesamtvor-räte [3)]
I Uran				
0- 10	0,16 [4)]	0,4 [4)]	22 [4)]	50 [4)]
10- 30	0,17	0,3	24	40
30-100 [5)]	5.	10.	700	1,400
100-500 [5)]	220	900	30,000	120,000
II Thorium				
0- 10	entfällt	entfällt	6 [6)]	25 [6)]
10- 30	entfällt	entfällt	6 [6)]	13 [6)]
30-100 [5)]	entfällt	entfällt	700	2,200
100-500 [5)]	entfällt	entfällt	63,000	190,000

1) Der Umfang der Vorräte wurde von der USAEC geschätzt. Die Energieeinheit Q entspricht 10^{18} BTU oder 0,252 x 10^{18} Kilokalorien. Die Angaben des Spaltungsenergiegehaltes haben zur Voraussetzung, dass das gesamte Vorratsmaterial sich schließlich spaltet, nachdem es in Gestalt wiederaufbereiteten Brennstoffs im Kreislauf mehrfach durch Reaktorkerne geleitet worden ist. Die Zahlenangaben berücksichtigen nicht die während des Brennstoffzyklus auftretenden und andere relativ geringfügige Verluste.

2) In den derzeitigen mit der Kommission abgeschlossenen Verträgen wird ein Preis von $ 8.00 pro lb (454 g) Uranoxyd festgesetzt. Der freie Marktpreis liegt gegenwärtig etwas niedriger. Für Thoriumoxyd sind noch keine Marktpreise für größeren Umsatz aufgestellt worden.

3) Hierin sind die geologischen Schätzungen späterer Entdeckungen enthalten.

4) Hierin ist das bereits abgebaute Uranium berücksichtigt, von dem der größte Teil noch als Uran existiert.

5) Die Kostenangaben beruhen auf der Gewinnung von Uran und Thorium aus Granit, und von Uran allein aus Schiefer und Phosphatgestein.

6) In Ermangelung von Daten unvollständige Schätzung.

ringwertigen Erzen (Tabelle I). In der Tat kann ein nur in Spurenmengen, wie im Granit-Gestein, vorhandenes Uran und Thorium als Teil wirtschaftlicher Reserven betrachtet werden, die auf solcher Grundlage nahezu unbegrenzt sind. [1/]

Die enorme Größe der Kernbrennstoffvorräte, welche die fossilen Brennstoffmengen zwerghaft erscheinen lassen, macht deutlich, daß ihre Erschließung und Ausbeutung in steigendem Maße und auf lange Sicht wichtig ist; sie können unseren Energiebedarf auf unbestimmte Zeit decken. Die Kernenergie wird unseren Energieverbrauch mehr und mehr decken und schließlich die überwiegende Energiequelle sein. Sie kann mit dem Wachsen des Bedarfes und der technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten weiter ausgebaut werden durch Methoden der Energieumwandlung, beispielsweise indem in stärkerem Maße elektrische Energie als Zwischenglied oder chemische Brennstoffzellen für kleine mobile Kraftmaschinen eingesetzt werden. Durch vernünftige Nutzung der Kernenergie können große Mengen fossiler Kohlenwasserstoffe für langfristige Bedürfnisse aufgespart werden, für welche sie sich speziell eignen.

Somit erfüllt die Nutzbarmachung der Kernenergie die von uns gestellten drei Bedingungen: Sie ist technisch durchführbar, sie ist wirtschaftlich vertretbar und sie kann in größtem Maßstabe verwirklicht werden. Wir schließen hieraus, daß die Kernenergie einen bedeutsamen und letztlich lebenswichtigen Beitrag zur Deckung unseres Energiebedarfes auf lange Sicht leisten kann und sollte.

Vorteile einer mit Kernkraft erzeugten elektrischen Energie

Nachdem wir die Erschließung der Kernenergie als notwendige Hilfsquelle auf lange Sicht vorausgesetzt haben, wollen wir nunmehr die Vorteile betrachten, die wir auf nähere Sicht aus der Elektrizitätserzeugung mittels Kernenergie gewinnen können. Ihre Entwicklung und weitverbreitete Anwen-

---

[1/] Auch wenn eine Tonne Gestein nur 50 gr Uran oder Thorium enthält, ist die zur Aufbereitung notwendige Energie klein im Vergleich zu der in diesem Kernbrennstoff latent enthaltenen Energie.

dung würde, wie bei jeder neuen technischen Entwicklung, Gesundheit und Leistungsfähigkeit unserer ganzen industriellen Wirtschaft zugute kommen. Die technischen Entwicklungen würden weiterhin in Wechselwirkung stehen mit den Anwendungen der Atomenergie für die Raumfahrt und militärische Zwecke, und zwar zum wechselseitigen Nutzen aller Gebiete. Das Vorhandensein einer wirtschaftlichen Energiequelle als Alternative würde bei der Lösung bestimmter Situationen flexiblere Methoden gestatten und die Möglichkeit eröffnen, neue Gebiete zu erschließen. Beispielsweise haben die bisherigen Entwicklungen erkennen lassen, daß große Aussicht besteht, die Reaktorwärme im Destillationsverfahren zur wirtschaftlichen Entsalzung großer Wassermengen auszunutzen. Eine zusätzliche, konkurrenzfähige Energiequelle würde einen gesunden Anreiz auf unsere konventionelle Energie- und Brennstoffindustrie ausüben. Sie würde einen Anreiz zu größeren Anstrengungen zwecks Verbesserung der technischen Möglichkeiten und Herabsetzung der Kosten herkömmlicher Energie ausüben, wie es die Aussicht auf diese Entwicklung bereits getan hat.

Der Umfang dieses machtvollen Einflusses auf unsere Technik und Wirtschaft kann aus der Tatsache ermessen werden, daß die jährlichen Ausgaben der Energieversorgungsbetriebe für neue Anlagen heute etwa 10 % der gesamten industriellen Bautätigkeit ausmachen und daß man mit einer Steigerung auf ca. 6,5 Milliarden Dollar im Jahre 1980 und auf 20 Milliarden Dollar im Jahre 2000 rechnet. Annähernd 60 % davon würden für Anlagen zur Dampferzeugung aufgewendet. Bei Zugrundelegung der derzeitigen Sätze erwartet man, daß die jährlichen Elektrizitätserzeugungskosten bis 1980 die Grenze von 15 Milliarden Dollar überschreiten und bis zum Jahre 2000 sich einem Wert von 50 Milliarden Dollar nähern.

Für die Verbraucher können sich aus dem Einsatz von Kernenergie beträchtliche Kostenvorteile ergeben. Der an erster Stelle anfallende Vorteil ergibt sich aus einer einmaligen wirtschaftlichen Gegebenheit: Bei der Kernkraft würden die Energieerzeugungskosten nahezu völlig unabhängig von dem Gebiet sein, wo das Kraftwerk errichtet wird, da die Beförderungskosten für den Brennstoff verhältnismäßig geringfügig sind. Hingegen bedingt die Brennstoffbeförderung bei konventioneller Energieerzeugung die

zwei- bis dreifachen Kosten, wenn man die teuersten und die billigsten Gebiete einander gegenüberstellt. Die durchschnittlichen Energieerzeugungskosten der USA liegen deshalb etwa 20 % über denjenigen der Gebiete, wo der Brennstoff am billigsten ist. Bei der heutigen Energieverteilung und den gegenwärtigen Unterschiedssätzen würden diese 20 %, würden sie weiterbestehen, um 1980 herum auf annähernd 3 Milliarden Dollar jährlich und im Jahre 2000 auf 10 Milliarden Dollar ansteigen.

Nach unserer Auffassung hat die Kernenergie die Schwelle erreicht, von welcher ab sie mit der herkömmlichen Energieerzeugung in den Gebieten konkurrenzfähig wird, wo der Brennstoff am teuersten ist. Bei weiteren Kostenminderungen kann sie die gebietlich bedingten Energiekostenunterschiede mehr und mehr reduzieren und das gesamte Land eines Tages auf gleiche Basis stellen. [1] Eine so geartete Änderung wäre ein wirtschaftlicher Segen für die Regionen, in denen die Brennstoffkosten hoch liegen. Abgesehen davon, daß den Verbrauchern erhebliche Kostenlasten erspart blieben, würde die Kernenergie in solchen Regionen eine weitergehende industrielle Entwicklung anregen und damit das Industrie- und Wirtschaftspotential der Nation steigern. Eine wertvolle technologische Auswirkung wäre, daß die Verringerung der Stromkosten im Vergleich zu den Brennstoffkosten die Verwendung von elektrischem Strom für Industriezwecke und Raumheizung begünstigen könnte.

Auf internationaler Ebene ist mit bedeutsamen Entwicklungen zu rechnen: Die Vereinigten Staaten verfügen, wie eingangs dargelegt wurde, über mehr fossile Brennstoffe, als ihrem Verhältnisanteil der Weltvorräte entspricht; viele Teile der Welt besitzen überhaupt keine. Infolgedessen ist die Anwendung der Kernenergie in vielen anderen Ländern noch dringlicher als bei uns; in der Tat besteht bei einigen ein Sofortbedarf. Energische Kernenergieprogramme gibt es in Westeuropa und Japan, die ihren Brennstoff größtenteils einführen müssen. Andere, technisch weniger entwickelte Län-

1) Natürlich würde die Kernenergie schrittweise eingeführt werden. Die von den konventionellen Kraftwerken erzeugte Energie würde über noch mindestens einige Jahrzehnte ansteigen und der Verbrauch fossiler Kraftstoffe, insbesondere Kohle, würde dementsprechend zunehmen. Siehe Seite 83.

der schicken sich an, große Programme durchzuführen. Diese einzelnen Länder, von wenigen Ausnahmen abgesehen, erwarten von uns und von einigen anderen technische Hilfeleistung und Lieferung von Kernkraftanlagen. Bisher waren die Vereinigten Staaten führend im Verkauf solcher Ausrüstungen.

Durch Wahrung unserer Führungsrolle auf dem Gebiet der Kernenergietechnik können wir eine wichtige Stellung in den Belangen der Internationalen Atomenergie-Organisation beibehalten. Nach unserer Auffassung dürfte die Rolle dieser Organisation von einschneidender Bedeutung sein, sobald Kernenergie weitverbreitet zur Anwendung gelangt. Insbesondere wird sie, kraft ihrer Sicherungssysteme, der geeignetste Apparat sein, welcher die Gewähr dafür bietet, daß Kernsubstanzen nicht für militärische Verwendungen in Nationen zweckentfremdet werden, die über keine anderweitigen Quellen für ein Kernwaffenprogramm verfügen.

Die Wahrung der Weltführungsrolle auf dem Gebiet der Kernenergie liegt also eindeutig im Interesse der Vereinigten Staaten. Ein energisches Energieprogramm für das Inland wird uns dabei helfen.

Die Kernenergie könnte auch Einfluß auf die Verteidigungslage des Landes haben. Der Transportbedarf ist angesichts der Art des Brennstoffes äußerst gering. In Zeiten eines nationalen Notstandes würden Kernanlagen daher unser Verkehrswesen nicht belasten; bei einem Angriff auf das Land würden die intaktgebliebenen Kraftwerke nicht wegen Brennstoffmangel ausfallen, selbst wenn das Verkehrswesen zum Erliegen gekommen sein sollte. Überdies wäre es durchaus möglich und relativ billig, unsere Kraftwerke unterirdisch anzulegen, so daß viele auch nach einem Großangriff noch weiter funktionieren könnten. Obschon die Verteilernetze zeitweilig unterbrochen wären, würde das Vorhandensein arbeitsfähiger Kraftwerke einen Wiederaufbau nach Feindseligkeiten in starkem Maße beschleunigen.

Ein weiterer Vorteil der Kernenergie ergibt sich aus der immer stärker werdenden Luftverunreinigung durch Rauch bei zunehmender Kohleverwendung. Die Kernenergie ist hieran nicht beteiligt. Das bei ihr auftretende Problem der Abfallbeseitigung ist anders geartet; es wird in einem Abschnitt weiter unten behandelt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die nukleare elektrische Energie enorme Möglichkeiten in sich birgt - als wichtiges Mittel zur Ausbeutung einer großen, neuartigen Energiequelle; als wirtschaftlicher Vorteil, insbesondere in Gebieten, wo fossile Brennstoffe teuer sind; als wichtiger Beitrag zu neuen industriellen Errungenschaften und zu unserer technologischen Führungsrolle in der Welt; als bedeutsames Element in unserer internationalen Stellung und potentiell, als Mittel zur Stärkung unserer Verteidigungslage. Aus allen diesen und noch anderen Faktoren folgern wir, daß die Erschließung und Nutzung der Kernkraft zur Elektrizitätserzeugung eindeutig im nationalen Interesse auf kurze und lange Sicht liegt und (diese Ziele) energisch verfolgt werden sollten!

DIE ROLLE DER REGIERUNG

Die anhaltende Verfügbarkeit reichlicher und wirtschaftlicher Energiequellen ist eine Angelegenheit, welche die gesamte Bevölkerung angeht. Diese Verfügbarkeit sicherzustellen ist daher eindeutig Aufgabe der Regierung. Das Atomenergiegesetz anerkennt diese Verantwortung für den Bereich der Kernenergie.

Im Gegensatz zu den Umwälzungen, welche die Einführung der Eisenbahn, des Flugzeuges, Telefons, Radios, ja der elektrischen Energie selbst mit sich brachten, wird die Nutzung der Kernenergie in großem Umfange zur Elektrizitätserzeugung keine qualitativ neuen Möglichkeiten eröffnen. Ihre Absatzfähigkeit ist fast ausschließlich von wirtschaftlichen Faktoren abhängig. Im Rahmen unserer freien Wirtschaft kann die Regierung die möglichst breite Nutzung der Kernenergie daher am besten durch Förderung von Entwicklungen sicherstellen, welche diese Energieform wirtschaftlich interessant machen.

Die Wirtschaftlichkeit weist zwei Aspekte auf: (1) Die Kosten der ersten technischen Entwicklungsstadien; und (2) die Kosten für den Bau und den Einsatz von Kernkraftwerken gegenüber den Kosten der noch eher konventionellen Energieerzeugungsmethoden.

Auch das Entwickeln von recht einfachen Kernreaktor-Konzeptionen ist ein kostspieliger Prozeß, einerseits wegen der Vielzahl der zu entwickelnden Einzelgeräte und Verfahren, besonders wo das Strahlungsproblem eine Rolle spielt, andererseits, weil die Betriebseinheiten, auch bei den maßstäblich verkleinerten Erprobungsanordnungen, zwangsläufig groß und teuer ausfallen. Daher mußten von irgendeiner Seite große Investitionen geleistet werden, ehe zuverlässige und leistungsfähige Betriebsanlagen konstruiert und gebaut werden konnten. Da das Erzeugnis nicht etwa einen bisher ungedeckten Bedarf deckt, sondern vielmehr in seiner Marktfähigkeit von rein wirtschaftlichen Vorteilen abhängt, die noch für geraume Zeit im Vergleich zur Investition gering sein werden, hätte es sich die Industrie nicht leisten können, die Entwicklung selbst zu bestreiten. Die Regierung muß hierbei eindeutig eine Rolle spielen.

Auch eine gut entwickelte Kerntechnik würde nicht ausgenutzt, solange ihre Herstellungs- und Betriebskosten nicht wenigstens mit den herkömmlicheren Methoden konkurrieren können. Infolgedessen gehört es auch mit zu den Aufgaben der Regierung, sicherzustellen, daß die technologischen Entwicklungen auf einen Stand gebracht werden, von welchem aus die Industrie, bei entsprechender Förderung und Unterstützung, Kernkraftanlagen erstellen kann, deren wirtschaftliche Faktoren insgesamt ausreichen, um die öffentlichen und als Aktiengesellschaften konstituierten Energieversorgungsbetriebe zu veranlassen, solche Kraftwerke auf eigene Kosten zu bauen. Ist dieses Stadium einmal erreicht und wird die Kernenergie zum gewinntragenden Unternehmen, so dürften die normalen materiellen Anreize ein wirtschaftliches Wachstum hervorrufen. Die Investitionen der Regierung dürften durch die Industrie um ein Vielfaches vermehrt werden. Die Ausrüstungshersteller können großangelegte technische Entwicklungsprogramme finanzieren und würden damit die Last der Regierung verringern und am Ende aufheben. Deshalb sollte die Schaffung einer sich selbst tragenden und ausbaufähigen Kernenergieindustrie ein Hauptziel dieses Programmes sein. Die Entwicklungs- und Förderungsprogramme zur Erreichung dieser Ziele müssen natürlich so durchgeführt werden, daß sowohl die kurzfristigen als auch die langfristigen Zielsetzungen erreicht werden - nämlich, daß wirtschaftliche, technische und andere unmittelbare Vorteile bald verwirklicht werden, daß die in unseren

Kernbrennstoffvorräten latente Gesamtenergie erschlossen und ein wesentlicher Beitrag zur Erhaltung unserer fossilen Brennstoffe geleistet wird. Deshalb kommt es darauf an, das Ziel, Brutreaktoren technisch und wirtschaftlich attraktiv zu gestalten, schnell zu erreichen. Hierbei muß die Regierung die Führung übernehmen.

Es kommt somit der Regierung die Aufgabe zu, die Entwicklung und den Nachweis der technischen Möglichkeiten so zu leiten, daß natürliche wirtschaftliche Kräfte die Industrieanwendungen fördern und zur Bildung einer sich selbst tragenden und ausbaufähigen Kernindustrie führen; das Programm sollte so gelenkt werden, daß die wirtschaftlichen Kräfte das Allgemeinwohl fördern, u. a. durch langfristige Erhaltung unserer fossilen und Kernbrennstoffvorräte.

DIE HEUTIGE LAGE

Die Atomenergiekommission hat mit der Entfaltung des zivilen Kernenergieprogrammes auf seinen gegenwärtigen Stand ein nationales Programm durchgeführt und gefördert mit dem Ziel, zunächst grundlegende wissenschaftliche und technische Daten zum Nachweis der meistversprechenden technischen Durchführungsmöglichkeiten der Kernenergieerzeugung zu gewinnen und zweitens die vorhandene oder potentielle wirtschaftliche Durchführbarkeit solcher Lösungen praktisch zu demonstrieren. In erheblichem Maße stützte sich dieses Programm auf und ging aus von Fachkenntnissen, die in anderen Reaktorprogrammen erworben wurden, insbesondere bei Reaktoren zur Erzeugung von Plutonium, Schiffsantriebsreaktoren sowie den für wissenschaftliche Zwecke eingesetzten Forschungsreaktoren. Die Kommission wurde auch stärkstens durch das Vorhandensein mehrerer AEC-Produktionsanlagen unterstützt, darunter vor allem durch die großen und leistungsfähigen Gasdiffusionsanlagen für angereichertes Uran 235, durch Plutonium erzeugende Reaktoren und durch chemische Trennanlagen.

Bisher wurde der Rahmen des Programmes absichtlich sehr weit gesteckt. Er umfaßte nicht nur ein ganzes Spektrum verschiedener Reaktortypen von den fast reinen Brennern bis zu den schnellen Brütern, vielmehr zwangen die technischen und wirtschaftlichen Ungewißheiten zur Beschreitung von vielerlei Wegen innerhalb jeder größeren Klasse. Das Programm erstreckte sich auf zwei unterscheidbare, jedoch miteinander verzahnte Phasen:

(1) Ein Programm von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in den Labors zur Untersuchung und Erkenntnis der wissenschaftlichen Grundlagen sowie zur Entwicklung und Erprobung der allgemeinen technischen Lösungen. Dieses vorwiegend von AEC finanzierte Programm wurde u.a. in den National Laboratories und anderen regierungseigenen Einrichtungen sowie in den Labors der nuklearen Industrie durchgeführt. Hierunter fallen Grundlagen- und angewandte Forschung auf Gebieten der Physik, Chemie und Metallurgie; Entwicklungsarbeiten an Reaktorbaueinheiten wie Brennstoffelemente, Bremsmittel, Kühlstoffe sowie Geräten für die äußeren Systeme wie Wärmeaustauscher, Pumpen usw. - und die Entwicklung von Verfahren, z.B. chemische Wiederaufbereitung, Brennstoffherstellung und Abfallbeseitigung. Über das Reaktorverhalten werden Kenntnisse durch exponentielle und kritische Versuche ge-gewonnen, mit denen die physikalischen Grundlagen der Kettenreaktion untersucht werden sollen, sowie durch Reaktorversuche, anhand deren das Verhalten vollständiger Reaktorsysteme studiert werden soll.

(2) Ein "Energiedemonstrations"-Programm in Kraftwerken, um die technischen Lösungen unter tatsächlichen Arbeitsbedingungen zu überprüfen, um Aufschlüsse über die Wirtschaftlichkeit zu gewinnen und um Erfahrungen als Verbesserungsgrundlage zu erlangen. Hierbei wurden Reaktor-Prototypen eingesetzt, die der Kommission gehören und von öffentlichen Versorgungsunternehmen betrieben wurden und die im Vergleich zu den üblichen Größenordnungen maßstäblich verkleinert sind; benutzt wurden auch Anlagen der Versorgungsbetriebe, die hierbei von der Kommission in unterschiedlichem Grade unterstützt wurden.

Bei den der Kommission gehörenden Prototypen, die in der Regel an öffentliche Versorgungsnetze angeschlossen wurden, bestand die Anordnung darin, daß der in einem von der Kommission gebauten und ihr gehörigen Reaktor erzeugte Dampf in Stromerzeugungsanlagen geleitet wird, die im Besitz des Versorgungsbetriebes sind. Dieser betreibt die gesamte Anlage im Rahmen entsprechender Finanzvereinbarungen, welche die Betriebskosten und den Marktwert des Dampfes decken. Die meisten Betriebsverträge dieser Art haben eine Laufzeit von 5 Jahren, wobei das Versorgungsunternehmen über eine Option zum Kauf des Reaktors zu einem Preis verfügt, der seinem Nutzwert nach Ablauf dieses Zeitraumes angemessen ist. Eine Ausnahme bildet der zur Kommission gehörende Reaktor in Shippingport, Pennsylvania, der durch die Duquesne Electric Company AG betrieben wird, die während der ersten 4 Betriebsjahre einen erheblichen Anteil der Betriebsverluste getragen hat.

Privaten Versorgungsunternehmen wurde Unterstützung in verschiedenen Formen gewährt, um diese zum Bau ihrer eigenen Kernkraftwerke anzuregen. Hierunter fallen Forschungs- und Entwicklungshilfe für den Hersteller; Benutzung von regierungseigenem Reaktorbrennstoff zu Regierungs-Zinssätzen mit einem Aufschlag für den verbrauchten Brennstoff sowie, in einigen Fällen, ein Verzicht auf Zins-("Verbrauchs"-)gebühren während der ersten 5 Betriebsjahre. Die Unterstützung wurde so angeboten, daß die verschiedenen Versorgungsbetriebe, vor allem solche, die kleine Anlagen benötigen, die Möglichkeit erhielten, verschiedene Reaktortypen auszuwählen und dadurch deren Verwendbarkeit mit nachzuweisen.

Bis heute hat die Kommission für das zivile Energieprogramm eigens etwa 1,275 Milliarden[1] Dollar ausgegeben, darunter 275 Millionen Dollar für

---

1) Diese Zahlen sind etwas unbestimmt, da Teilbeträge davon ziemlich willkürlich auf die Kosten von Forschungs- und Entwicklungsprogrammen verteilt sind, deren fachliches Ergebnis auch andere Programme unterstützt.

Entwicklung, Bau und Betrieb ihrer eigenen Reaktoren an Versorgungsnetzen und 37 Millionen Dollar als Hilfe zur Entwicklung von Anlagen im Besitz der Versorgungsbetriebe. Zur Zeit werden jährlich etwa 200 Millionen Dollar aufgewendet.[1] Während der letzten Jahre hat die Industrie etwa 500 Millionen Dollar aufgewendet, und zwar in der Hauptsache für den Bau von Kraftwerken, aber auch für Laboratorien und ähnliche Einrichtungen sowie für Entwicklungsarbeiten.

Bedeutende Fortschritte sind in den 9 Jahren seit der Genehmigung des Shippingport-Reaktors erzielt worden, der als erster primär zur Stromerzeugung in einem zentralen Kraftwerk gebaut wurde. Neben den auf der ganzen Linie zu verzeichnenden großen technischen Fortschritten wurden die Kosten reduziert, seitdem der Prototyp des Shippingport-Reaktors vom ersten praktischen Versuch mit etwa 50 mills* pro kWh 1958 auf weniger als 10 mills pro kWh der heutigen Großanlagen gebracht wurde; für ein in Bälde zu errichtendes Großkraftwerk in Bodega Bay, California, werden die Kosten mit 5,5 bis 6 mills geschätzt.

Neben dem der Regierung gehörenden Druckwasserreaktor[2] in Shippingport, der 1,36 Milliarden Kilowattstunden elektrischer Energie erzeugt hat, wurden 1,45 bzw. 2,43 Milliarden Kilowattstunden[3] erzeugt von dem einem Privatunternehmen gehörenden Druckwasserreaktor "Yankee" in Massachusetts und dem Siedewasserreaktor "Dresden", der ohne Regierungsunterstützung in Illinois gebaut wurde. Kürzlich wurden in Betrieb genommen der Druckwasserreaktor der Consolidated Edison, New York, der ebenfalls ausschließlich mit privaten Mitteln erstellt wurde, sowie der zur AEC gehörende Natriumgraphit-Reaktor in einem Kraftwerk des öffentlichen Versorgungsnetzes von Nebraska und ein der Consumers Power

---

1) Diese Zahlen sind etwas unbestimmt, da Teilbeträge davon ziemlich willkürlich auf die Kosten von Forschungs- und Entwicklungsprogrammen verteilt sind, deren fachliches Ergebnis auch andere Programme unterstützt.

* 1 mill = 1/10 cent

2) Die hier und in Tabelle II genannten verschiedenen Reaktortypen werden in einem weiter unten folgenden fachlichen Abschnitt beschrieben.

3) Diese Gesamtwerte entsprechen dem Stand vom 29. Oktober 1962.

Company in Michigan gehörender Siedewasserreaktor. Damit wird die gesamte Kernkraftkapazität zur Elektrizitätserzeugung in den USA auf etwa 850,000 Kilowatt gebracht, was etwa 0,5 % unserer gesamten installierten Kapazität entspricht. Sieben weitere Kernkraftwerke sollen innerhalb der nächsten Monate den Betrieb aufnehmen. Diese Kraftwerke und andere noch nicht fertiggestellte sind mit Angabe ihrer Kapazität und Typen in Tabelle II aufgeführt. Nicht enthalten in dieser Liste sind fünf kleine Versuchsanlagen, von denen zwei in privater Hand sind.

Außer durch die vorgenannte Unterstützung durch andere technische Programme und AEC-Produktionseinrichtungen wurde unserem Programm Unterstützung durch verschiedene Umstände zuteil; hierzu gehören: (1) die Politik der Regierungs-Exekutive sowie des Kongresses, die Industrie aktiv an der Entwicklung zu beteiligen; (2) der Optimimus, ja Überoptimismus, vieler Leute in den Anfangsjahren; (3) das Prestige, das privaten Versorgungsbetrieben aus der Beteiligung an dieser Entwicklung erwachsen konnte, wenn sie nicht vollständig den öffentlichen Körperschaften überlassen wurde; und (4) die Aussicht auf internationales Prestige und für den Welthandel; dies wurde durch die Suez-Krise 1956-57 noch unterstrichen, in welcher sich ganz Europa Sorgen um Brennstoff machte und sich zu energischen Anstrengungen veranlaßt sah, an denen die USA in vielen Fällen sich aktiv beteiligten. (Die Länder auf dem europäischen Festland haben in den ersten 5 Betriebsjahren allein 200 Millionen Dollar aufgewendet und das Vereinigte Königreich noch größere Summen, gegenwärtig nahezu 100 Millionen Dollar pro Jahr.)

Erfahrungen haben die Tatsache bestätigt, daß Baukosten und somit auch die auf die Stromerzeugungskosten abzuwälzenden Kapitallasten bei Kernkraftwerken heute noch höher als bei den herkömmlichen Kraftwerken sind[1], wenngleich sich dieser Abstand verringert. Andererseits sind in vielen Gegenden die Kosten des Brennstoffkreislaufes bei Kernkraftwerken geringer. Bei den neuen Anlagen, wie sie jetzt gebaut werden können, he-

---

1) Die in näherer Zukunft bei großen Anlagen anfallenden Kosten werden auf rund 125 bis 150 Dollar pro Kilowatt bei konventionellen Anlagen und auf 160 bis 190 Dollar pro Kilowatt bei Kernkraftwerken geschätzt.

TABELLE II

IM BETRIEB UND IM BAU BEFINDLICHE KERNKRAFTWERKE[1)]

NAME	REAKTOR-EIGENTÜMER	BETRIEBEN DURCH	KERNKRAFT-KAPAZITÄT KWE[2)]	REAKTORTYP
Teil I Im Betrieb befindliche Reaktoren				
Shippingport Atomic Power Station	AEC	Duquesne Light Company	67,000[3)]	Druckwasser
Yankee Nuclear Power Station	Yankee Atomic Electric Co.[4)]		165,000	Druckwasser
Consolidated Edison Thorium Reactor	Consolidated Edison Co. of N.Y.		202,000[5)] (164,000)	Druckwasser
Dresden Nuclear Power Station	Commonwealth Edison Company		209,000	Siedewasser
Big Rock Point Plant	Consumers Power Company[4)]		50,000	Siedewasser
Hallam Nuclear Power Facility	AEC	Consumers Public Power District of Nebraska	82,000	Natrium gekühlt und Graphit
Teil II Reaktoren, die bis Ende 1963 fertiggestellt werden sollen				
Elk River Reactor	AEC	Rural Cooperative Power Association	18,000[6)] (16,000)	Siedewasser
Humboldt Bay Power Plant	Pacific Gas and Electric Company		50,000	Siedewasser
Carolinas-Virginia Tube Reactor	Carolinas-Virginia Nuclear Power Associates[4)]		16,000[7)] (15,700)	Mit Schwerwasser gekühlt und moderiert
Enrico Fermi Atomic Power Plant	Power Reactor Development Company[4)]		65,900	Schneller Brüter
Piqua Organic Moderated Reactor	AEC	City of Piqua, Ohio	12,500	Organisch gekühlt und moderiert
Pathfinder Atomic Power Plant	Northern States Power Company[4)]		66,000	Siedewasser mit nuklearer Überhitzung
Boiling Nuclear Superheat Reactor	AEC	Puerto Rico Water Resources Authority	17,300	Siedewasser mit nuklearer Überhitze

Teil III Reaktoren, die nach 1963 fertiggestellt werden sollen

Experimental Gas Cooled Reactor	AEC	TVA	29,400	Helium gekühlt und Graphit moderiert
La Crosse Boiling Water Reactor	AEC	Dairyland Power Cooperative	53,500	Siedewasser
Peach Bottom Atomic Power Station	Philadelphia Electric Company[4]		42,200	Helium gekühlt und Graphit moderiert

1) In dieser Tabelle sind nur die von Versorgungsunternehmen betriebenen Anlagen aufgeführt. Nicht genannt sind einige kleine Kraftwerke, deren Energie am Ort verbraucht oder in geringen Mengen verkauft wird.

2) Bei jedem Reaktor wird die Brutto-Kapazität für Stromerzeugung (KWE) angegeben. Bei Kraftwerken, deren Dampfüberhitzer mit fossilen Brennstoffen gespeist werden, wird diese nukleare Brutto-Kapazität anteilig ermittelt aus der Brutto-Stromleistung des Kraftwerkes entsprechend der Hitzeleistung des Kernreaktors und dem mit fossilen Brennstoffen gespeisten Überhitzer; der in Klammern stehende Kapazitätsalternativwert setzt voraus, daß der Reaktor einen Wirkungsgrad von 28 % bei der Umwandlung der Reaktorhitze in Elektrizität erreichen könnte.

3) Das Kraftwerk wird 1964 mit einer thermischen Leistung entsprechend 150,000 KWE arbeiten.

4) AEC unterstützte bei Forschung und Entwicklung und verzichtete auf Benutzungsgebühren.

5)	Ein mit fossilen Brennstoffen	(	275,000 KWE
6)	gespeister Überhitzer bringt die	(	23,000 KWE
7)	Brutto-Kapazität auf	(	19,000 KWE.

ben sich diese Unterschiede sowie kleinere Abweichungen ungefähr gegeneinander auf bei Großkraftwerken in den Gegenden, wo der Brennstoff am teuersten ist. Die Einheitskosten der Energie verringern sich natürlich in beiden Fällen mit zunehmender Anlagengröße, jedoch etwas schneller bei den Kernkraftwerken als bei den konventionellen. Mit anderen Worten, Kernkraftwerke werden mit zunehmender Größe konkurrenzfähiger. Die Tendenz zu größeren Kraftwerken[1] begünstigt somit die Kernenergie.

1) Heute werden etwa 2/3 der gesamten elektrischen Energie in den USA in Kraftwerken mit einer Kapazität von 300 Megawatt (300,000 Kilowatt) oder darüber erzeugt und 40 % in Kraftwerken mit einer Kapazität von 500 MW oder darüber. Versorgungsbetriebe und Anlagenhersteller rechnen nunmehr mit Kapazitäten von 1 Million Kilowatt.

Zur Beurteilung der Konkurrenzfähigkeit von Kernkraftwerken ist es angebracht, diese Wettbewerbsfähigkeit in Form der vergleichbaren Kosten für fossilen Brennstoff von Kraftwerken auszudrücken, welche die gleichen Gesamterzeugungskosten haben. In den USA wird fast die ganze elektrische Energie bei Brennstoffkosten erzeugt, die zwischen 15 und 38 pro Million BTU betragen. Bei den heute in den allerbesten Großkraftwerken erreichten Wirkungsgraden bedeutet jeder cent pro Million BTU zusätzliche 0,085 mills pro Kilowattstunde (m/kWh) in den Erzeugungskosten. Bei solchen Kraftwerken machen andere, vom Standort nahezu unabhängige Kostenanteile bei einer geschlossenen Anlage ca. 2,8 bis 3,0 m/kWh aus. Die Gesamtkosten liegen infolgedessen zwischen 4,1 und 6,2 m/kWh.

Die derzeitigen Herstellerschätzungen lassen erkennen, daß ein jetzt in Angriff genommenes großes, wassergekühltes Kernkraftwerk Strom bei etwa 6 m/kWh oder darunter anfänglich erzeugen könnte und deshalb mit 36 ¢ oder noch weniger Brennstoffkosten konkurrieren könnte. Während der Betriebszeit des Kraftwerkes würden die durchschnittlichen Erzeugungskosten jedoch aus zwei Gründen wesentlich niedriger werden:
(1) Sofern Forschung und Entwicklung energisch vorangetrieben werden, ließe sich der "Abbrand", d.h. die aus einer gegebenen Brennstoffbeschickung extrahierte Energie verbessern und dadurch die Häufigkeit der Wiederaufbereitung und Herstellung des Brennstoffes reduzieren; hierdurch sowie durch technische Neuerungen in Herstellungs- und Wiederaufbereitungsverfahren können die Gesamtkosten für den Brennstoff reduziert werden; (2) Das am Anfang üblicherweise vorsichtig angesetzte Leistungsniveau könnte gesteigert werden, wodurch Festkosten, Betriebskosten und Unterhaltungskosten pro Kilowattstunde gesenkt würden.[1] Wir rechnen damit, daß diese Auswirkungen zusammengenommen eine Senkung der Gesamtkosten um durchschnittlich 0,5 bis 0,6 m/kWh gestatten und das Kraftwerk während seiner Lebensdauer damit in die Lage versetzen, mit Brennstoffkosten von ca. 30 bis 31 ¢ zu konkurrieren. Unter diesen Voraussetzungen

---

1) Die konventionellen Kraftwerke können, wegen ihres hochentwickelten technischen Aufwandes, die Einheitsenergieerzeugungskosten im Laufe ihrer Lebensdauer nicht näherungsweise so weit senken, wie es die Kernkraftwerke schon in ihrem derzeitigen Entwicklungsstadium können.

könnte ein solches Kraftwerk mit konventionellen Kraftwerken konkurrieren, die zur gleichen Zeit in Gegenden errichtet werden, welche heute ein Drittel des Elektrizitätsverbrauches in den USA ausmachen.[1/] Die erreichbaren Kostenvorteile lägen zwischen Null - in Gegenden, wo der Brennstoff 31 ¢ kostet - und 10 % der Gesamterzeugungskosten, in Gegenden, wo der Brennstoff 38 ¢ kostet.

Unserer Ansicht nach böten die vorgenannten Tatsachen, nachdem sie einwandfrei erwiesen sind, einem großen Teil der Energieindustrie einen genügend starken wirtschaftlichen Anreiz, große Kernkraftanlagen für die Elektrizitätserzeugung zu bauen. Einige Großkraftwerke würden nach unserem Ermessen diesen Nachweis erbringen. In den Gebieten hoher Brennstoffkosten befassen sich in der Tat mehr und mehr Versorgungsbetriebe mit dem Gedanken von Kernkraftwerken. Beispielsweise plant die Pacific Gas and Electric Company ein völlig eigenfinanziertes Kraftwerk von 325 Megawatt in Bodega Bay, California, in einem Gebiet der höchsten Brennstoffkosten. Für die Unterstützung durch die AEC bedarf es, unserer Meinung nach, nur relativ geringer Aufwendungen, um den Bau weiterer Kraftwerke in anderen Gebieten sicherzustellen.

Wir folgern somit, daß die Kernenergie an der Schwelle der wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit steht und bald in Gebieten konkurrenzfähig gestaltet werden kann, die einen wesentlichen Anteil der elektrischen Energie des Landes verbrauchen; mit einer verhältnismäßig bescheidenen Unterstützung durch die AEC könnte diese Schwelle überschritten werden und eine weitgehende Annahme durch die Versorgungsindustrie herbeiführen.

1/ Der Verbrauch an elektrischer Energie in den USA verteilt sich ungefähr gleichmäßig über die Kostenspanne der fossilen Brennstoffe (38 bis 15 ¢ = 23 ¢ pro Million BTU). Sobald die Kernenergie einmal in den Gegenden höchster Brennstoffkosten konkurrenzfähig geworden ist, wird infolgedessen jede Kostensenkung um 0, 1 mill/kWh sich um 0, 1 (23 x 0, 085) = 5 % in dem Anteil des Energieverbrauches niederschlagen, in welchem sie schon konkurrenzfähig ist.

REAKTORSYSTEME

Mehrere Reaktortypen stehen in verschiedenen Entwicklungsstadien. Hierzu gehören sowohl "Konverter", die weniger Spaltstoff erzeugen als sie verbrauchen, als auch "Brüter", die mehr erzeugen als sie verbrauchen. In den folgenden Abschnitten werden mehrere der aussichtsreichen Reaktoren der verschiedenen Typen kurz beschrieben.

Konverter

Die zur Erzeugung elektrischer Energie am weitesten entwickelten Reaktoren werden mit "leichtem" oder "normalem" Wasser gekühlt und moderiert [1] und erzeugen gesättigten Dampf. Sie entsprechen der einen oder der anderen von zwei Unterarten: (1) "Druckwasser-"Reaktoren, bei denen Reaktor und ein geschlossener Primär-Kühlkreislauf vollständig mit Wasser gefüllt sind, so daß sich darin kein Dampf bildet; der zum Antreiben der Turbine notwendige Dampf wird in einem Sekundärkreislauf erzeugt, welcher mit dem primären über einen Wärmeaustauscher gekoppelt ist. (2) Siedewasserreaktoren, bei welchen der Dampf im Reaktor selbst erzeugt wird. Manchmal wird dieser Dampf unmittelbar in die Turbinen geleitet, in anderen Fällen über einen Sekundärkreislauf.

Sämtliche großen Kraftanlagen und viele der bisher gebauten mittleren und kleineren gehören zu diesen Typen. Wenngleich noch Raum für weitere Verbesserungen vorhanden ist z. B. Erreichung höherer Temperaturen, höherer Leistungsdichte und eines größeren Brennstoff-"Abbrandes" haben diese Typen ihr Ziel erreicht: sie sind zuverlässig und sicher. Es wird angenommen, daß große Reaktoren dieser Typen nunmehr in den Gebieten hoher

---

1) Die von einem sich spaltenden Atomkern emittierten Neutronen haben sehr hohe Geschwindigkeiten und werden als "schnell" bezeichnet. Man spricht von "moderierten" Neutronen, wenn sie durch viele Zusammenstöße mit leichten Kernen wie Wasserstoff (in Wasser oder organischen Verbindungen), Kohlenstoff (in Graphit) oder Beryllium abgebremst wurden. Bei genügender Bremsung, so daß bei Reaktortemperatur ein Gleichgewichtszustand erreicht wird, bezeichnet man sie als "thermische" Neutronen. Weil ihr Verhalten in ausgeprägter Weise vom Neutronenenergiespektrum abhängt, werden Reaktoren durch die Zusätze "thermisch", "intermediär" oder "schnell" näher bezeichnet.

Brennstoffkosten mit der Aussicht gebaut und betrieben werden können, im Laufe ihrer Lebenszeit eine größere Wirtschaftlichkeit als die konventioneller Kraftwerke erreichen. Durch den besseren Brennstoffwirkungsgrad und andere allgemeine Verbesserungen kann zweifellos künftig eine noch höhere Wirtschaftlichkeit erzielt werden.

Sind diese Reaktoren heute schon die wirtschaftlichsten und zuverlässigsten, so wohnen ihnen doch bestimmte Begrenzungen inne. Nachteilig wirkt sich bei ihnen aus, daß sie einen Sattdampf von verhältnismäßig niedriger Temperatur erzeugen, wodurch ihr Wirkungsgrad geringer ist, und daß sie große und kostspielige Turbinen voraussetzen. Auch vermögen sie nicht zu brüten und können infolgedessen kaum brütbare Substanzen verbrauchen, mit denen wir auf lange Sicht gesehen arbeiten müssen. Aus diesem Grunde wird die Entwicklung anderer Konverter, welche Aussicht auf Verbesserungen in diesen Hinsichten bieten, aktiv voran getrieben.

Bei den verbesserten Reaktortypen, die am weitesten entwickelt sind, können wassergekühlte Reaktoren genannt werden, welche überhitzten Dampf erzeugen. Zu den Varianten dieser Grundkonzeption gehören Systeme bei denen (1) Dampf in einem Reaktor erzeugt und in einem anderen überhitzt wird; und in denen (2) Dampf im selben Reaktor erzeugt und überhitzt wird. In einigen Reaktoren des letztgenannten Typs liegt der dampferzeugende Teil im thermischen Neutronenspektrum und der Überhitzer im schnellen Neutronenspektrum. Die Überhitzer-Konzeptionen bieten ganz beträchtliche wirtschaftliche Vorteile angesichts der höheren Temperaturen und somit höheren thermischen Wirkungsgrade, als sie in Sattdampfreaktoren erreichbar sind, sowie wegen der kleineren, weniger kostspieligen Turbinen, die eingebaut werden können. Das Hauptproblem scheint bei der Entwicklung von Werkstoffen zu liegen, welche (die Temperaturen des) überhitzten Dampfes aushalten. Die Reaktor-Prototypen "Bonus" und "Pathfinder" gehören zu diesem Typ.

Ebenfalls recht gut entwickelt, wenn auch nicht im selben Maße wie die Sattdampfreaktoren, sind verschiedene Konverter, bei welchen andere Moderatoren und Kühlmittel verwendet werden. Die meisten versprechen bessere Wirtschaftlichkeit, viele sogar ganz eindeutig. Bei anderen ist der

Konversionsgrad (Brutfaktor) verbessert. Wiederum andere weisen speziel-le Merkmale auf, z. B. hinsichtlich der verwendeten Brennstoffart oder hin-sichtlich der Aufgaben, für welche sie sich eignen. Bei einigen Reaktoren vereinigen sich zwei oder mehrere solcher Merkmale. Unter diesen poten-tiell besseren Konvertern sind zu nennen:

(1) Der organisch gekühlte und moderierte Reaktor, in welchem organische Flüssigkeiten als Moderierungs- und Kühlmittel zur Druckverringerung und Temperatursteigerung im Reaktorgefäß verwendet werden. Obwohl diese Entwicklung schon frühzeitig aussichtsreich erschien, ist sie mit einer Verschmutzungstendenz behaftet, d. h. die Flüssigkeiten tendieren zur Bil-dung klebriger Substanzen, welche Schichten auf den Metalloberflächen bil-den und die Wärmeleitung hemmen. Diese Verschmutzung nimmt mit der Temperatur stark zu. Wenngleich dieses Problem zweifellos, zumindest bei mittelhohen Temperaturen, gelöst werden dürfte, ist noch nicht erwiesen, daß dieser Reaktor für die Energieerzeugung mehr bietet als Leichtwasser-reaktoren; bei der Wärmeerzeugung für die Verfahrenstechnik dürfte dies der Fall sein, weil die verwendeten Flüssigkeiten dann nicht radioaktiv werden. Diesem Typ entspricht der Prototyp-Reaktor "Piqua".

(2) Schwerwasser-Reaktoren, d. h. solche, die an Stelle des normalen Wasserstoffes Deuterium enthalten. Zwar ist schweres Wasser als Modera-tor nicht so wirksam, es hat aber den Vorteil, weniger Neutronen zu absor-bieren, so daß natürliches Uran statt angereichertem Uran verwendet wer-den kann. Bei Verwendung von angereichertem Brennstoff kann die geringe-re Neutronenabsorbtion höhere Konversionsgrade und eine größere Wirt-schaftlichkeit in der Verwertung des Brennstoffes als bei Leichtwasser-Reaktoren ergeben. Ein grundlegender Nachteil sind die hohen Kosten des Schwerwassers, das hohe Kapitalinvestitionen und umfangreiche Maßnahmen zur Verhütung eines Flüssigkeitsaustrittes, also wirtschaftliche Verluste, voraussetzt. Bei angereicherten Reaktoren läßt sich dieser Nachteil min-dern, allerdings teilweise auf Kosten des Neutronenverbrauches, indem man das Schwerwasser nur als Moderator benutzt und die Kühlung einer organischen Flüssigkeit oder normalem Wasser überläßt. Schwerwasser-Reaktoren werden in Kanada energisch entwickelt, wo ein 20 Megawatt-

Reaktor in der Energieversorgung betrieben und ein 200 MW-Reaktor gebaut wird. Es besteht enge Zusammenarbeit mit den Kanadiern.

(3) Der "Spektralverschiebungs"-Reaktor, in welchem Leichtwasser und Schwerwasser kombiniert werden. Bei dieser Konzeption wird ein frisch beschickter Reaktor durch ein prädominierend Schwerwasser enthaltendes Gemisch gekühlt und moderiert. Hieraus ergibt sich eine "Untermoderierung" und ein über dem thermischen Bereich liegendes Neutronenenergiespektrum, welches dann zu höheren Konversionsgraden führt. Mit zunehmendem Verbrauch des Brennstoffes und der Ansammlung von neutronenabsorbierenden Spaltprodukten wird das Verhältnis von leichtem zu schwerem Wasser vergrößert und dadurch die Kettenreaktion auf ihrem anfänglichen Niveau gehalten. Damit wird die Notwendigkeit kostspieliger Steuerstäbe oder chemischer Lösungen umgangen, welche die Neutronen aufschlucken und die Brennstoffwirtschaftlichkeit mindern. Wahrscheinlich könnten damit recht hohe Konversionsgrade während des ganzen Brennstoffkreislaufes erzielt werden. Diese Konzeption wäre für den Thorium-Uranium-Zyklus besonders aussichtsreich und könnte, voraussichtlich, in kurzer Zeit baureif entwickelt werden.

(4) Der Natrium-Graphit-Reaktor, der durch flüssiges Natrium gekühlt und durch Kohlenstoff in Graphitform moderiert wird. Dieser Reaktor dürfte recht hohe Temperaturen, also gute thermische Wirkungsgrade, erreichen und könnte eine weitere Verbesserung der Konverter bilden. Da Jod von geschmolzenem Natrium sehr gut absorbiert wird, fällt die Standortwahl bei diesem Reaktortyp wesentlich einfacher aus, weil die Gefahr einer Streuung von radioaktiven Substanzen bei einem Reaktorunfall dann weitestgehend beseitigt ist. Ein wichtiger Gesichtspunkt hierbei ist, daß die technischen Grundlagen flüssiger Metalle wie eben Natrium von ausschlaggebender Bedeutung für die späteren schnellen Brüter sind, so daß diese Entwicklung wohl in der Zukunft zu bedeutsamen Anwendungen führt. Diesem Typ entspricht der Hallam-Reaktor.

(5) Gasgekühlte Reaktoren. Bei diesen Reaktoren erfolgt die Kühlung durch Gase wie Helium, Wasserstoff oder Kohlendioxyd und die Moderierung durch Feststoffe wie Graphit oder Beryllium. Bei ihnen besteht die begründete Aussicht auf die Erzielung hoher Temperaturen und ziemlich hoher Konversionsgrade. Gasgekühlte Hochtemperatur-Reaktoren sind vor allem aussichtsreich für den Thorium-Uran-Zyklus, bei welchem Konversionsgrade von annähernd, wenn auch nicht vollständig, 1:1 erreichbar erscheinen. Der "Peach Bottom"-Reaktor bei Philadelphia entspricht einer weiterentwickelten Ausführung eines gasgekühlten Reaktors.

Brüter

Aus unseren Darlegungen der nuklearen Rohstoffquellen ging hervor, daß die im spaltbaren Uran-235 enthaltene Energie, aus den relativ geringwertigen Erzvorräten, so begrenzt ist, daß weitestgehend auf brütbare Materialien zurückgegriffen werden muß, wenn die Kernenergie weit verbreitet und lange Zeit vorteilhaft genutzt werden soll. Es besteht also ein recht bald, wenn auch nicht unmittelbar eintretender Bedarf für Reaktoren, welche mehr spaltbare Substanz erzeugen als sie verbrauchen.

Brutreaktoren kann man in zwei Hauptgruppen unterteilen, "schnelle Brüter", die nach dem Uran-Plutonium-Zyklus arbeiten, und "thermische Brüter", die nach dem Thorium-U-233-Zyklus arbeiten. Leider ist keine dieser Arten zur Zeit auch nur annähernd technisch oder wirtschaftlich so weit wie die Konverter entwickelt.

Die Kerneigenschaften von Uran-235 und Plutonium sind so beschaffen, daß mehr Neutronen aus den durch schnelle Neutronen als den von langsamen Neutronen ausgelösten Spaltvorgängen freigesetzt werden. Tatsächlich ist der Unterschied so groß, daß er das Brüten in schnellen Reaktoren,

jedoch nicht in thermischen Reaktoren, die mit diesen Stoffen arbeiten, zuläßt. [1)] Leider treffen bei schnellen Reaktoren technische und wirtschaftliche Schwierigkeiten zusammen. Gute Brutgewinne setzen natürlich voraus, daß der Brennstoff nicht übermäßig mit anderen, neutronenabsorbierenden oder moderierenden Substanzen verdünnt wird. [1/] Um also große und teuere Brennstoffbestände zu vermeiden, muß die von ihnen erzeugte Energie in kleinen Volumen konzentriert sein. Dies bedingt wiederum technische und Sicherheitsprobleme einer ausreichenden Wärmeabführung. Ferner ist es schwierig, konzentrierte Brennstoffe zu entwickeln, die bis auf einen kleinen Rest ausnutzbar sind und dadurch den Aufwand für die teuere Neuanfertigung von Brennstoffelementen weitestgehend verringern. Das Zusammentreffen dieser Faktoren hatte bisher zur Folge, daß schnelle Brüter recht teuer sind. Immerhin sind jetzt Entwicklungen vorhanden, welche die Aussicht auf erheblich verbesserte Brennstoffe eröffnen, darunter "keramische" Brennstoffe wie Uran- und Plutoniumoxyde und -karbide. In weiterer Ferne steht die Möglichkeit einer Verwendung von geschmolzenem Plutonium.

Bei der Entwicklung schneller Brüter ergab sich der größte Aufwand bei der Verwendung von geschmolzenem Natrium oder von Natriumkalium-Legierungen als Kühlmittel. Hierzu waren komplizierte und aufwendige technische Lösungen zu entwickeln, für Pumpen, Wärmeaustauscher und dergleichen aus entsprechend haltbaren Werkstoffen. Die für den Natriumgraphit-Reaktor geleisteten Entwicklungsarbeiten haben sich erfreulicher-

---

1) In einem "thermischen" Reaktor schwankt die Zahl der pro absorbiertem Neutron emittierten Neutronen sowohl bei U-235 als auch bei Plutonium zwischen Werten, die geringfügig unter und über 2 liegen, und zwar je nach Moderationsgrad. Die entsprechenden Werte für nichtmoderierte Spaltungsneutronen sind 2,45 bei U-235 und 2,94 bei Plutonium. In beiden Fällen ist natürlich ein Neutron notwendig, um die Kettenreaktion in Gang zu halten. Einige Verluste ergeben sich unvermeidlich durch Aussickerung und durch Absorption in anderen Reaktorwerkstoffen. Während also mit U-235 oder Plutonium beschickte thermische Reaktoren wahrscheinlich überhaupt nicht brüten können, wären schnelle Reaktoren technich in der Lage, Brutgewinne von ca. 1,2 bei Beschickung mit U-235 und bis zu 1,6 bei Beschickung von Plutonium zu erreichen. Wirtschaftliche Gesichtspunkte dürften jedoch eine wesentliche Verringerung dieser Werte bedingen.

1/ Abgesehen davon, daß langsame Neutronen weniger Neutronen pro im Spaltstoff absorbiertes Neutron erzeugen, werden sie selbst von anderen Substanzen, auch den Spaltprodukten, leichter absorbiert.

weise auch auf diese Technologie ausgewirkt.

Im Thorium-Uran-233-Zyklus ist das Bild ganz anders: Bei der thermischen Spaltung emittiert U-233 mehr Neutronen als U-235; bei der schnellen Spaltung hingegen emittiert es jedoch kaum mehr als bei der langsamen. 1/ Daher bieten thermische Brüter größte Aussichten, denn bei ihnen fällt die erforderliche Leistungsdichte und Haltbarkeit des Brennstoffes niedriger aus. Jedoch ist bei ihnen eine andersgeartete Schwierigkeit dadurch vorhanden, daß Spaltprodukte die langsamen Neutronen stark absorbieren, man also eine allzu große Ansammlung dieser Produkte nicht zulassen kann. Am ehesten dürfte dieses Problem dadurch gelöst werden, daß man den Brennstoff in flüssiger Form benutzt, bei welcher er zur Entfernung der Spaltprodukte kontinuierlich entnommen und aufbereitet werden kann. Man hat verschiedenartige flüssige Brennstoffe hierauf untersucht und die günstigste Lösung ergäbe sich bei Verwendung von geschmolzenen Uransalzen, die sowohl zur Wiederaufbereitung als auch zur Wärmeabfuhr zirkuliert werden könnten. Diese Technik befindet sich allerdings noch in einem recht frühen Stadium.

Voraussichtliche Tendenzen

Auch nachdem Brutreaktoren wirtschaftlich werden und mit ihrem Einbau begonnen wird, muß mit einer Erschwernis hinsichtlich der Brennstoffzufuhr gerechnet werden. Wirtschaftliche Brutreaktoren werden, zumindest noch für geraume Zeit, so niedrige Brutgewinne aufweisen, daß sie nicht

---

1/ Bei thermischen Energien werden durchschnittlich 2,3 Spaltungsneutronen von einem in U-233 absorbierten Neutron emittiert. Bei nichtmoderierten Neutronen beträgt diese Zahl 2,58 und würde in einem schnellen Reaktor eher bei 2,35 oder 2,4 liegen.

mehr als 3 oder 4 % ihres Brennstoffbestandes pro Jahr erzeugen. [1]
Da der Energieverbrauch um etwa 6 % jährlich zunimmt, muß also ein Teil der Anlagen mit spaltbarem Uran-235 beschickt werden, sofern der Anteil der Kernkraft an der gesamten Energieerzeugung erhöht werden soll.

Bei den thermischen Thorium-Uran-Brütern ist dies kein großes Problem. Ihr Brennstoffbedarf kann gedeckt werden, indem man sie, wenigstens im Anfang, mit U-235 beschickt, auch wenn die Wirtschaftlichkeit und die Menge des von ihnen erzeugten U-233 darunter leidet. [2]

Auf der anderen Seite wären die zum Brüten eines Plutoniumüberschusses erforderlichen "schnellen" Reaktoren nur dann wirtschaftlich interessant, wenn sie mit Plutonium an Stelle von U-235 beschickt werden. Die für ihre Einbeziehung in eine sich schnell ausbreitende Kernenergiewirtschaft günstigste Maßnahme wäre zweifellos der Einsatz von thermischen Konvertern, welche das für weitere Anlagen benötigte Plutonium erzeugen helfen. Diese Kombination würde solange beibehalten, bis Zunahmen in der relativen Plutonium-"Ausbeute" dieser Brüter, in Verbindung mit einer verhältnismäßig geringeren Wachstumsrate im Elektrizitätsverbrauch, die Brüter in die Lage versetzten, aufzuholen und selbst genügend Plutonium zu erzeugen.

---

1) Bei Thorium-Uran-Brütern sind die wirtschaftlichen Brutgewinne durch die gegebenen Kernkonstanten auf einen knapp über eins liegenden Wert begrenzt, so daß der Produktionsüberschuß nur einen sehr kleinen Bruchteil des verbrauchten Brennstoffes darstellt und die relative Zuwachsrate an U-233 sehr gering ist. Bei den als Plutonium-Brüter eingesetzten "schnellen" Reaktoren lassen sich höhere Brutgewinne erzielen, der notwendige Brennstoffbestand ist im Verhältnis zum Verbrauch jedoch wesentlich größer, so daß wiederum niedrige relative Zuwachsraten entstehen. Man pflegt die relative Erzeugungsrate gewöhnlich als "Verdopplungszeit" auszudrücken, d. h. als die Zeit, die ein Reaktor braucht, um das zur Beschickung eines zweiten Reaktors ausreichende Überschußmaterial zu erzeugen. Bei den ersten wirtschaftlichen Brütern wird diese Zeit wahrscheinlich 15 bis 20 Jahre, wenn nicht noch länger ausmachen.

2) Bei Beschickung mit U-235 werden diese Reaktoren wahrscheinlich einen Konversionsgrad unter eins aufweisen, sie wirken daher dann nicht als Brüter.

Mit dieser Voraussetzung vergrößert sich die Notwendigkeit der weiter oben erwähnten Hochleistungs-Konverter. Angesichts ihrer weiteren Verwendung bis in die Brüter-Ära kommt ihrer höheren Wirtschaftlichkeit nicht nur größere Bedeutung zu, sondern ihre höhere Plutonium-Ausbeute [1] würde das Verhältnis begünstigen, in welchem neue Brüter gebaut werden können, und dadurch die Brüterkonverter-Mischung anreichern. Dem käme besonders große Bedeutung zu, falls der Konverterbedarf zur Ergänzung der Brüter über die Dauer unserer Vorräte an billigem Uran hinausreichte. Letztlich muß natürlich ein Brutreingewinn für die Kernenergieindustrie als Ganzes anfallen.

Brüter werden für Energieversorgungsbetriebe natürlich nur dann attraktiv sein, wenn sie mit den besten vorhandenen Konvertern wirtschaftlich konkurrieren. Dies wird abhängen von den relativen Investitionskosten, den Wirkungsgraden und vor allem von dem relativ reichen Vorkommen und den Werten der verschiedenen Kernbrennstoffe. Bei Abwägung aller Umstände glauben wir, daß schnelle Brüter in den kommenden 10 oder 20 Jahren mit Konvertern konkurrenzfähig werden und in wachsendem Ausmaße parallel mit weiteren Konvertern gebaut werden. Die durch eine freie Marktwirtschaft bestimmten Kosten der verschiedenen Brennstoffe dürften nach unserer Auffassung zwangsläufig zu einem vernünftigen Verhältnis führen. Eine Knappheit an Plutonium bzw. ein Überfluß an Uran würde den Bau von mehr Konvertern begünstigen und umgekehrt. [2] Mit der Verbesserung des wirtschaftlichen Brutfaktors in Brütern und mit dem Kostenanstieg für Uran-235 bei Erschöpfung der billigen Erzlager wird der Anteil der schnellen Brüter in einem Maße vermehrt, das lediglich durch die vorhandenen Plutoniummengen begrenzt ist.

---

1) Die Plutonium-"Ausbeute" in einem Konverter ergibt sich aus dem Unterschied zwischen dem in situ erzeugten und verbrannten Plutonium. Die wirtschaftlich ins Gewicht fallenden langen Abbrandzeiten vergrössern den Anteil des im Reaktor verbrannten Plutoniums.

2) Bei den voraussichtlichen wirtschaftlichen Brutgewinnen (unter 1,1) und Brennstoffwerten wird der wirtschaftliche Vorteil der Brüter, bedingt durch das von ihnen erzeugte zusätzliche Plutonium, durch die zusätzlichen Belastungen mehr als aufgehoben, die durch ihren großen Brennstoffbestand bedingt sind. Daher sind hohe Plutonium-Kosten für sie ungünstig; die Lage wäre umgekehrt bei ausreichend großen Brutgewinnen.

In der Zwischenzeit werden Thorium-Uran-233-Brüter, bei energischer Entwicklung, sicherlich auch wirtschaftlich werden. Vernachlässigt man den evtl. Plutoniumeinsatz in solchen Brütern, so ist die Lage nicht so kompliziert wie im Plutonium-Zyklus, denn es kommen nur thermische Reaktoren in Frage. Der Umfang, in welchem solche Brüter eingesetzt würden, richtet sich daher in erster Linie nach den wirtschaftlichen Gegebenheiten der Gesamtlage. Ein wirtschaftlicher Druck in der Anfangszeit könnte durchaus den Uran-Plutonium-Zyklus begünstigen, weil das Plutonium in den Konvertern unmittelbar entsteht, welche das Gros der Leistungsreaktoranlagen in der Anlaufzeit bilden werden.

Es wird vieler Entwicklungsarbeiten und mehrerer Reaktorgenerationen, über viele Jahrzehnte, sicherlich bedürfen, um das Stadium zu erreichen, in welchem die Brüter - durch verbesserte Wirtschaftlichkeit sowie durch evtl. Minderungen in der relativen Wachstumsrate des Energiebedarfes - autark werden. Ist dieser Punkt schließlich erreicht, so wird neues Uran nur noch zur Erzeugung von Uran-238 benötigt, obschon dann das in ihm enthaltene Uran-235 natürlich auch verwertet wird. In diesem Stadium, oder schon früher, können unsere großen Vorräte an "abgebranntem" Uran ausgenutzt werden, aus welchem das Uran-235 größtenteils in den Diffusionsanlagen extrahiert wurde.

Das künftige Programm sollte also die energische Entwicklung und rechtzeitige Einführung von verbesserten Konvertern und, vor allem, von wirtschaftlichen Brütern umfassen; Brüter sind für die volle Nutzung der Kernenergie auf lange Sicht unerläßlich.

BEURTEILUNG DES DRINGLICHKEITSGRADES

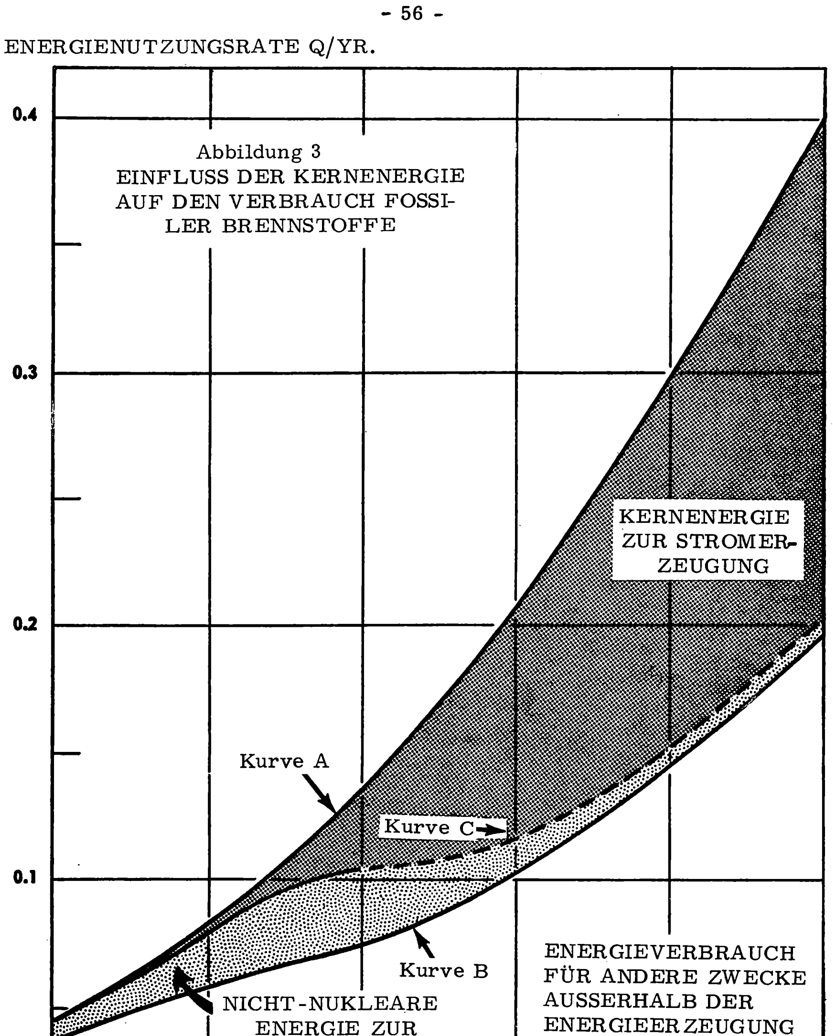
Wenn vorausgesetzt ist, daß ein zwingender Bedarf an Kernenergie besteht, daß sie bei Nutzung auf breiter Grundlage wesentliche Vorteile in naher Zukunft zu bieten vermag und daß die Regierung bei ihrer Erschließung eine führende Rolle spielen sollte, dann sollte man auch versuchen, ihre Dringlichkeit abzuschätzen im Lichte des heutigen Entwicklungssta-

diums sowie unter Berücksichtigung der weiteren Entwicklungskosten und der Größenordnung der daraus erwachsenden Gewinne.

Es ist vielleicht nützlich, unsere Beurteilung der gegenwärtigen Lage zu rekapitulieren. Dank der in den letzten 12 Jahren durchgeführten umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsprogramme sind viele Bereiche der Technologie auf eine hohe Entwicklungsstufe gebracht worden. Heute können Wasserreaktoren gebaut werden, welche im Verlaufe ihrer Lebensdauer in großen Teilen des Landes mit konventioneller Energie in Wettbewerb treten können; verbesserte Konverter können innerhalb weniger Jahre auf die gleiche Stufe entwickelt werden; bei Brüterreaktoren bleibt zwar noch viel zu tun, doch wurden deutliche Fortschritte erzielt. Praktische Erfahrungen werden aus mehreren Reaktoren an Energieverteilernetzen gesammelt und wesentlich mehr Erfahrungen werden in naher Zukunft anfallen. Eine beträchtliche Kernenergie-Ausrüstungsindustrie ist vorhanden, die darauf wartet und in der Lage ist, Kernkraftwerke zu bauen, und zwar in einem Umfang, der über den jetzigen Bedarf weit hinausgeht. Im Ausland besteht ein weit verbreitetes und wachsendes Interesse an der Nutzung der Kernenergie und eine stärker werdende Hinwendung zur amerikanischen Industrie als Herstellungsquelle. Die Kernenergie scheint die Schwelle erreicht zu haben, von welcher an sie eine bedeutsame Rolle zu spielen vermag.

Man muß sich indes vergegenwärtigen, daß zum Heranreifen einer Kernenergietechnik und ihrer Nutzung auf breiter Grundlage lange Zeit notwendig ist. Wie auch in anderen technologischen Bereichen werden Fortschritte nicht nur durch Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen erzielt, sondern auch auf Grund von Erfahrungen gemacht. Die Betriebseinheiten müssen während ihrer ganzen Lebensdauer eingesetzt und erprobt werden. Im Gegensatz zu normalerweise intermittierend benutzten Geräten wie Autos, Flugzeuge und Radios, läßt sich dieser Prozeß bei ihnen nicht durch beschleunigende Versuche abkürzen. Daher sind für verschiedene Entwicklungsabschnitte mitunter ganze Jahrzehnte notwendig.

Auch ein psychologischer Faktor spielt hier eine Rolle: Bevor die Verantwortlichen der Versorgungsbetriebe große Teile ihrer Anlagen auf Kern-



KURVE A stellt die Gesamtenergie auf der gleichen Grundlage wie Kurve C in Abbildung 1 dar.
KURVE B stellt den Energieverbrauch für andere Zwecke, außer für Elektrizitätserzeugung dar.
KURVE C entstand durch Subtraktion von Kurve A der gesamten zur Stromerzeugung verbrauchten Kernenergie.

technik umstellen, haben sie den Wunsch, sich selbst von der Wirtschaftlichkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit der Kernenergie zu überzeugen. Von wenigen Ausnahmen abgesehen kann diese Überzeugung jedoch nur gewonnen werden, indem man die Anlagen selbst über Zeitspannen hin beobachtet, welche repräsentativ für die normale Lebensdauer von Kraftwerken sind.

Gewiß kann es keinen absoluten Maßstab für die Zielsetzungen der Kernenergie geben. Die relativen Gewinne einer mehr oder weniger geschwinden Fortentwicklung sind gradueller Natur. Am geeignetsten wäre vielleicht eine Beurteilung, welche vom derzeitigen Programm der Kommission als Bezugsrahmen ausgeht.

Durch Fortführung jener Anstrengungen, etwa auf Seiten des Energiedemonstrationsprogrammes verstärkt [1] und mit Programmanpassungen mit größerem Nachdruck auf Brütern, würde nach unserer Auffassung der Industrie der notwendige Impuls gegeben, eine erhebliche Anzahl großer Reaktoren in nächster Zeit zu bauen, ferner würde die Kernenergie in weiten Teilen des Landes nach 1970 auf eine Stufe der Wettbewerbsfähigkeit gebracht und Brutreaktoren bis etwa 1980 wirtschaftlich attraktiv gestaltet werden.

In Vorwegnahme dieses Ergebnisses rechnen wir damit, daß die Kernenergie bis zum Jahre 2000 die gesamte Mehrerzeugung an elektrischer Energie trägt und daß, gemäß den Schätzungen der Bundes-Energiekommission, dann etwa Zweidrittel der Energie in Kraftwerken erzeugt wird, welche zu einer Zeit errichtet werden, in der die Kernenergie am jeweiligen Ort wirtschaftlicher als konventionelle Energie war. Natürlich werden dies nicht nur Kernkraftwerke sein. Ein bestimmtes Gebiet benötigt nicht gerade dann ein Großkraftwerk, wenn die Kernenergie eben konkurrenzfähig wird. Auch wäre mit einer natürlichen Abneigung zu rechnen, eine neue,

---

1) Das "Energiedemonstrationsprogramm" in dem hier gebrauchten Sinn umfaßt Forschung, Entwicklung und Betriebsprojekte sowie Baukosten, die bei den, der Kommission oder den Versorgungsbetrieben gehörenden, Energieversorgungseinrichtungen anfallen.

statt einer bewährten und anerkannten Technik einzuführen, solange nicht ein augenfälliger wirtschaftlicher Unterschied vorhanden ist. In Würdigung dieser Nebenfaktoren ergeben unsere groben Schätzungen, daß Kernkraftwerke bis zum Ende dieses Jahrhunderts de facto etwa die Hälfte der gesamten elektrischen Energie des Landes erzeugen könnten.[1)] Dieser Anteil dürfte in den darauffolgenden Jahrzehnten soweit zunehmen, daß in der Mitte des (nächsten) Jahrhunderts alle Energie nuklear erzeugt wird, mit Ausnahme eines kleinen Bruchteiles, der in Spezialkraftwerken, darunter vielleicht einige Reservekraftwerke für Spitzenbelastung, erzeugt würde.

Die oben beschriebene Wachstumsrate ist in Abbildung 3 veranschaulicht. Kurve A ist eine lineare Darstellung der Energienutzungsrate, welche vorher im logarithmischen Maßstabe durch die entsprechende Kurve der Abbildung 1 gezeigt wurde. Die Kurve B ist gewonnen durch Subtraktion der Schätzwerte[2)] der zur Stromerzeugung verbrauchten Brennstoffenergie von den in Kurve A dargestellten Werten. Kurve C unterteilt den Bereich des Energieverbrauches für Elektrizität in zwei Teile: Der darüberliegende Bereich wird durch Kernenergie gestellt, der darunterliegende durch fossile Brennstoffe. Sofern Kernenergie nicht anderweitig genutzt würde, wäre die Kurve C also ein Maß für die anteilige Nutzung fossiler Brennstoffe.

Diese Progression kann als für die Erhaltung unserer fossilen Brennstoffe ausreichend angesehen werden, sofern die Kernenergie bis zur Mitte des (nächsten) Jahrhunderts auch anderen Bedarf in angemessenem Maße deckte, und zwar unmittelbar oder über elektrische Energie für Aufgaben, die

---

1) Die Kapazität der Kernkraftwerke würde sicherlich weit unter der Hälfte liegen, denn bei den auftretenden Verhältnissen von Investitions- zu Brennstoffkosten in der Stromerzeugung würde die Kernenergie wohl mehr für die Grundlast und die konventionelle Energie mehr für die Spitzenlast eingesetzt werden.

2) Bei dieser Kurve wurden die Schätzwerte der US-Bundes-Energiekommission für den elektrischen Energiebedarf bis zum Jahr 2000 zugrundegelegt. Danach wurde der relative Anteil der elektrischen Energie weiter steigend (von 47 % des Gesamtverbrauches im Jahre 2000) bis auf 50 % und danach gleichbleibend eingesetzt.

sie bisher nicht erfüllte.[1/] Eine wesentlich langsamere Zunahme hätte aber zur Folge, daß unsere fossilen Brennstoffe in einer unangemessen kurzen Zeit aufgebraucht würden, vor allem, falls sich die vorsichtigeren Schätzungen der Vorräte und der endgültigen Abbaukosten als richtig erweisen. Unter der Voraussetzung einer rechtzeitigen Erschließung der Kerntechnik wäre es also günstig, wenn die durch heraufziehende Knappheit fossiler Brennstoffe entstehenden wirtschaftlichen Drücke die Nutzung der Kernenergie beschleunigen.

Sofern unsere Annahmen bezüglich Brutreaktoren einigermaßen genau sind, verursacht das vorstehend beschriebene geschätzte Anwachsen der Kernenergie keine Schwierigkeiten in der Bereitstellung der Kernbrennstoffe. Etwa bis zum Jahr 2000 dürfte die Uranmenge, die in Tabelle I in der Preisgruppe von 0-10 Dollar/lb aufgeführt ist, abgebaut sein. Von den in Uran-235 ursprünglich enthaltenen 0,4 Q Energie würde noch annähernd die Hälfte in Reaktorbeständen und in den Lagervorräten von abgebautem Uran vorhanden sein. Bis dahin nehmen Brüter und Konverter einen solchen Anteil ein, daß ein Großteil der erzeugten Energie aus Substanzen stammen würde, die ursprünglich Uran-238 und Thorium waren; etwas höhere Erzpreise würden sich deshalb nicht wesentlich auf die Energiekosten auswirken. Sollten aber ernstliche Verzögerungen in der Brüterentwicklung eintreten, etwa um einige Jahrzehnte, dann könnten hochwertige Uranerze schon erschöpft sein, während noch große Mengen Uran-235 gebraucht werden. Aus diesem Grunde ist es wichtig, die Brutreaktortechnik schnell auszubauen.

Der finanzielle Nutzen eines solchen Wachstums würde bald spürbar sein. Bei den gleichen Annahmen wie oben rechnet man in der Stromerzeugung mit Kosteneinsparungen von ca. 2 bis 2 1/2 Milliarden Dollar jährlich bis

---

1/ Bei den hier eingesetzten Annahmen würde der Energieverbrauch außerhalb der nuklearen Stromerzeugung sich auf etwa 10 Q, bis zur Mitte des Jahrhunderts, belaufen und der Jahressatz würde ca. 0,35 Q betragen. Bis zum Jahre 2100 würde der Gesamtverbrauch auf einen Wert zwischen 25 und 30 Q ansteigen.

1990 und von 4 bis 5 Milliarden Dollar [1] bis zum Jahre 2000. Die kumulativen Einsparungen würden sich auf etwa 30 Milliarden Dollar belaufen. [2] Die Einsparungen würden nicht in einem direkten Verhältnis zu der tatsächlich eingesetzten Kernenergiemenge stehen, denn wäre diese Menge geringer, so würde ein größerer Anteil auf die Gegenden entfallen, in welchen die größten Einsparungen pro Kosteneinheit erwachsen.

Somit könnten äußerst lohnende Ergebnisse aus einer Fortführung der Anstrengungen der Kommission erwartet werden, zumal wenn diese das Energiedemonstrationsprogramm bald noch verstärkt unterstützt. Die Industrie würde veranlaßt, eine volle Partnerschaft in finanzieller Hinsicht einzugehen, wie sie es in technischer Hinsicht bereits hat; hierdurch würde die Notwendigkeit der künftigen Regierungsbeteiligung verringert. Die Entwicklung der neuen Technologie würde Gesundheit und Lebenskraft unserer Industrie stärken und unsere gesamte Wirtschaft anregen. Unsere internationale Führungsrolle in diesem Gebiet würde zum Vorteil unseres Ansehens und unserer Außenhandelsbeziehungen aufrechterhalten werden. Den Elektrizitätsverbrauchern würden erhebliche Kostenminderungen zugute kommen; in geeigneter Weise konstruierte und angelegte Kernkraftwerke könnten unsere Verteidigungslage stärken. Eine ungeheuere neuartige Energiequelle würde zur rechten Zeit erschlossen.

---

1) In diesen Berechnungen wird vorsichtigerweise angenommen, daß die Einheitskosten in diesem Jahrhundert in den billigeren Gegenden bei Kernenergie nicht unter die der konventionellen Energie fallen. Würde dies eintreten, so ergäben sich natürlich größere Einsparungen. Die voraussichtliche Verringerung der Investitions- und Betriebskosten von konventionellen Kraftwerken und die voraussichtliche Steigerung des Wirkungsgrades bei der Umwandlung von Wärmeenergie in elektrische Energie sind hierbei berücksichtigt. In letzterer Hinsicht wird angenommen, daß konventionelle Kraftwerke bis zum Jahr 2000 einen Wirkungsgrad von 50 % erzielen und Kernkraftwerke einen Wirkungsgrad von 40 %. Nicht berücksichtigt wurden neue Verfahren, z.B. der Magnetohydrodynamik, die gleichermaßen für Kern- und konventionelle Kraftwerke Anwendung finden könnten. Angenommen wird ferner, daß sich die Kosten der fossilen Brennstoffe im Kraftwerk nicht ändern, d.h. daß sich Änderungen der Gewinnungskosten und der Transportkosten durchschnittlich aufheben.

2) Bei einem Zinssatz von 5 % würden diese Einsparungen bis 1970 auf einen Wert von etwa 10 Milliarden Dollar anwachsen.

Anstrengungen in einem wesentlich geringeren Umfange würden nach unserem Dafürhalten bedeutend verminderte Vorteile ergeben. Die Minderung der finanziellen Einsparungen würden nicht mehr im selben anteiligen Verhältnis zu den dann geringeren Ausgaben aus Bundesmitteln sein. Bei allzu großer Verlangsamung des Programmes könnte unsere internationale Führungsrolle in diesem Gebiet teilweise geschmälert oder ganz eingebüßt werden. Allzu lange Verzögerungen könnten zur Folge haben, daß die potentiellen Vorteile für die Landesverteidigung verschwendet werden.

Es wäre äußerst bedauerlich, versäumte man die Gelegenheit zu nutzen, eine rapide industrielle Entwicklung anzuregen, in deren Zuge die Industrie mehr und mehr künftige Entwicklungsaufgaben übernehmen könnte. Gerät das Programm zu lange ins Stocken, so erlitte die Kernkraft-Ausrüstungsindustrie schwere Rückschläge; viele Unternehmen würden sich sicherlich zurückziehen und mit ihren Fähigkeiten anderweitig zu betätigen suchen, dadurch aber das Gebiet einer zu geringen Zahl von Firmen überlassen. Fachkenntnisse und Erfahrungen würden verlorengehen. Sollte dies je eintreten, dann würde der Neuaufbau der Kapazität lange Zeit beanspruchen und das Programm würde weit mehr verzögert, als es in der Bremsung des Kommissions-Programmes selbst beabsichtigt wäre.

Umgekehrt würde ein wesentlich erweitertes Regierungsprogramm, nach unserem Ermessen, nicht sinnvoll sein. Insgesamt betrachtet ist die Unterstützung der in der Entwicklung arbeitenden Wissenschaftler und Ingenieure in etwa ausreichend, wenngleich in Bälde einige Programmabänderungen vorgenommen werden sollten. Angesichts der gesamten Forschungs- und Entwicklungsbedürfnisse des Landes wäre es nicht gerechtfertigt, auf diesem Gebiet den Personaleinsatz beträchtlich zu erhöhen. Nur hinsichtlich der Förderung von Betriebseinheiten in Prototypform und in voll maßstäblicher Ausführung dürfte eine erhebliche Steigerung, aber auch nur während der nächsten Zeit, angezeigt sein. Das beim Industrieausbau in Frage kommende Fachpersonal würde überwiegend für Konstruktion und Fertigung, kaum jedoch für Forschung und Entwicklung benötigt.

Zusammenfassend sind wir zu dem Schluß gelangt, daß das Kernenergieprogramm ohne Verzögerungen fortgesetzt werden sollte mit stärkerem Anreiz für die Mitwirkung der Industrie; das Energie-Demonstrationsprogramm sollte verstärkt unterstützt werden und durch Programmverschiebungen soll die Entwicklung von Brutreaktoren mit größerem Nachdruck verfolgt werden.

ERKLÄRUNG DER ZIELSETZUNGEN

In Berücksichtigung des Bedarfes an Kernenergie, der Aufgaben der Atomenergie-Kommission, des Standes der Kernenergietechnik, ihrer künftigen Möglichkeiten sowie der Existenz und der Möglichkeiten der nuklearen Industrie, gelangen wir zur nachfolgenden Erklärung der Zielsetzungen:

Das Gesamtziel des Kernenergie-Programmes der Kommission sollte darin bestehen, die zunehmende Nutzung der Kernenergie zu fördern und zu unterstützen und, insbesondere, so zu lenken, daß die in den fruchtbaren Materialien, Uran-238 und Thorium, latent vorhandenen riesigen Energiequellen erschlossen werden können.

Die untergeordneten Zielsetzungen können wie folgt zusammengefaßt werden:

(1) Nachweis einer wirtschaftlichen Energieerzeugung mittels Kernkraft durch Bau von Kraftwerken mit den derzeit konkurrenzfähigsten Reaktortypen;

(2) Baldige Schaffung einer sich selbst tragenden und wachsenden Kernenergieindustrie, welche die Entwicklungskosten in steigendem Maße übernimmt;

(3) Entwicklung verbesserter Konverterreaktoren und später von Brutreaktoren zur Umwandlung brütbarer in spaltbare Isotope, um das Potential der Kernbrennstoffe vollständig zu erschließen.

(4) Wahrung der technologischen Führungsrolle der USA in der Welt vermittels eines dynamischen nationalen Kernenergieprogrammes und durch geeignete Zusammenarbeit mit befreundeten Staaten sowie deren Unterstützung.

Zur Verwirklichung dieser Ziele muß die Kommission eine positive und dynamische Führungsrolle übernehmen, um einerseits die technischen Ziele zu erreichen und um andererseits um die stärkere Beteiligung der Ausrüstungs- und Versorgungsindustrie herbeizuführen, während die Kernenergie in immer weiteren Gebieten unseres Landes und der ganzen Welt wirtschaftlich wird.

DAS KÜNFTIGE PROGRAMM

Wir gelangten weiter oben zu dem Schluß, daß ein zur Erfüllung der Ziele des Kernenergieprogrammes logischer Übergang drei sich überlappende Phasen umfassen muß: (1) Sofortiger Einsatz von Reaktortypen, die mit konventionellen Kraftwerksanlagen wirtschaftlich konkurrieren können oder bald konkurrenzfähig gemacht werden können; (2) Ein Übergangsstadium, in welchem höhere Wirtschaftlichkeit durch höhere Temperaturen, längere Brennstofflebensdauer und andere technische Verbesserungen erzielt werden und in welchem verbesserte Konverter mit höherer Wirtschaftlichkeit und höheren Konversionsgraden eingeführt werden; (3) Eine Fernzielphase, in welcher Brüter eingesetzt werden, welche die aus dem Kernbrennstoff extrahierte Energie um einen hohen Faktor vervielfachen und dadurch die Technologie aus der starken Abhängigkeit von Rohmaterialkosten befreien und riesige Energiereserven erschließen; Konverter zur Verbrennung von U-235 bleiben solange unerläßlich, bis Brüter genügend neuen Spaltstoff zur Beschickung der erforderlichen weiteren Reaktoren erzeugen; in der Zwischenzeit erlangen die Konversionsgrade mit dem Ansteigen der Rohmaterialkosten zunehmende Bedeutung.

Wie in einem früheren Abschnitt dargelegt wurde, erstrecken sich die derzeit laufenden technischen Programme verschiedener Reaktortypen auf jede

dieser 3 Phasen. Ihre vollständige Entwicklung durchläuft vier aufeinander aufbauende Stufen: (1) Konzeptions-Vorstudien der Durchführbarkeit und der eingeschlagenen Lösungen; (2) Reaktorversuche zur Untersuchung und Optimierung der Systemkonzeption des Reaktors; (3) Bau und praktischer Betrieb von krafterzeugenden Systemen in Prototypausführung, gewöhnlich im verkleinerten Maßstab; meistens sind diese wirtschaftlich nicht konkurrenzfähig und müssen daher von der Regierung gebaut oder stark unterstützt werden; (4) Förderung und ggf. beschränkte finanzielle Unterstützung der von Versorgungsbetrieben gebauten vollmaßstäblichen Anlagen; die bei ihrem Betrieb gewonnenen Daten werden natürlich als Hilfe für künftige Entwicklungen und Konstruktionen weitergeleitet.

In den nachfolgenden Abschnitten werden unsere Vorstellungen des künftigen Reaktorentwicklungsprogrammes behandelt. Dieses Programm muß selbstverständlich durch weitere und energische Forschungs- und Entwicklungsarbeiten bezüglich der technischen Grundlagen unterstützt und in regelmäßigen Abständen einer Überprüfung unterzogen werden.

Ein Programm für die unmittelbare Zukunft

Die Hauptziele bei der Förderung sofortiger großmaßstäblicher Anwendungen sind, Erfahrungen und Kenntnisse aus dem praktischen Betrieb zu gewinnen, eine im Ausbau begriffene Kernenergie-Ausrüstungsindustrie wirklich zum Anlaufen zu bringen und Versorgungsbetriebe von den wirtschaftlichen Vorteilen zu überzeugen, welche sie künftig durch zunehmende Nutzung der Kernenergie erlangen können.

Sattdampfreaktoren sind in ein Stadium gelangt, in welchem die Industrie den Hauptanteil der Kosten für Weiterentwicklungen tragen kann und sollte; lediglich die Entwicklung von Brennstoffen und Geräten müßte von der Regierung weiter verfolgt werden;[1] aus den Fortschritten in der Raumfahrt-

---

1) Eine Ausnahme bildet der sogenannte "Saat und Mantel"-Reaktor, bei dem Zonen aus natürlichem Uran schon von Zonen mit vollangereichertem Uran durchsetzt sind. Entwicklungsstudien und Versuche mit dieser Konzeption werden als wertvoll betrachtet, da dieser Reaktortyp - zwar ohne wesentliche Verbesserung des Konversionsgrades - in nicht zu

technik und militärischen Programmen wie aus allgemeinen technologischen Entwicklungen würden selbstverständlich weiterhin Nutzanwendungen gezogen.

Das zwischenzeitliche Programm: Verbesserte Konverter

In Anbetracht ihrer erfolgreichen Entwicklung bieten Sattdampfreaktoren eine genügend breite Basis für die Erreichung des Grundzieles, nämlich die Kernenergienutzung zu verwirklichen. Andere Konvertertypen sollten von der Regierung nur dann größere finanzielle Hilfe erhalten, sofern sie: eindeutig günstigere Energieeinheitskosten ermöglichen; wesentlich höhere Konversionsgrade besitzen; unmittelbaren, erheblichen technischen Einfluß auf Brütersysteme haben oder für andere Anwendungen, beispielsweise Wärmeerzeugung in der Verfahrenstechnik, haben könnten. Die Kommission überprüft z. Zt. die ganze Reihe der nicht zu den Brütern gehörenden Reaktoren nach diesen Gesichtspunkten, um zu ermitteln, welche von ihnen weiter oder anders entwickelt sollten und bei welchen die Entwicklung abgebrochen werden sollte. Hierbei ist es in einigen Fällen möglich, an entsprechende Programme in anderen Ländern anzulehnen. Beispielsweise würden wir uns weitgehend auf das kanadische Programm für Schwerwasser-Natururan-Reaktoren verlassen, zumindest für die nächste Zeit, ein Programm, bei welchem wir nur in bescheidenem Umfang mitwirken.

Bei verschiedenen Systemen besteht die Aussicht, daß sie die Kriterien erfüllen. Ausgezeichnete wirtschaftliche Aussichten zeigen z.B. der Spektralverschiebungs-Reaktor, der gasgekühlte Hochtemperatur-Reaktor, der

---

(Fortsetzung von Seite 64)
1) starkem Maße von den ungewissen Kosten der Brennstoffwiederaufbereitung abhängig ist und da er, im Falle einer generellen Abrüstung, die großen Bestände an dem, für Waffenzwecke hergestellten, stark angereicherten Uran verwerten könnte. Darüberhinaus könnten wertvolle Aufschlüsse für andere Typen mit diskontinuierlichen Zonen gewonnen werden, beispielsweise Reaktoren, die mit verschiedenen Anreicherungsgraden in verschiedenen Zonen arbeiten oder, später, solche, die Brutmäntel verwenden.

Natriumgraphit-Reaktor sowie Reaktorsysteme, bei welchen der Dampf mit Kernenergie überhitzt wird. Die beiden erstgenannten sind besonders gute Konverter und können zum Brüten im Thorium-Uran-233-Zyklus eingerichtet werden. Schwerwasser-Reaktoren sind ebenfalls ausgezeichnete Konverter, haben wirtschaftlich aber weniger gute Aussichten. Der Natriumgraphit-Reaktor arbeitet auf der Grundlage von flüssigem Natrium, die für schnelle Brüter benötigt wird, und seine jodabsorbierenden Eigenschaften sind vom Sicherheitsstandpunkt aus wertvoll. Der organisch gekühlte und moderierte Reaktor kann mit Sattdampf-Wasserreaktoren wirtschaftlich konkurrieren und könnte bei der Wärmeerzeugung in der Verfahrenstechnik Verwendung finden.

Die Kommission muß diese Systeme anhand der vorgenannten Gesichtspunkte noch weiter sorgfältig prüfen. Einige könnten auf einen Stand gebracht werden, daß man in den nächsten Jahren betriebfähige Prototypen bauen könnte, allerdings nur, sofern einigermaßen feststeht, daß bedeutende Vorteile daraus erwachsen. Man hofft, daß einige wenige schließlich den Bau in großmaßstäblicher Ausführung durch Versorgungsbetriebe rechtfertigen. Solche für den Betrieb geeigneten Reaktortypen werden - neben den Erkenntnissen, die sie hinsichtlich der verschiedenen Systeme liefern - die Industrie anspornen, die Betriebserfahrungen ergänzen und einen Teil des Plutoniums erzeugen, mit dem das Brüterprogramm zum Anlaufen gebracht werden kann.

Programm für die ferne Zukunft

Obwohl für den Brutvorgang im Thorium-Uran-233-Zyklus auf den Erfahrungen mit weniger entwickelten Reaktoren aufgebaut werden kann (von denen der eine oder andere, wenn auch nur gerade eben, sogar brüten könnte) bedarf es energischer und entsprechend gerichteter Anstrengungen, um die Brütertätigkeit in einem nennenswerten Maße zu erreichen. Die Entwicklung sowohl der Brennstoffsysteme als auch der Mantelsysteme muß vorangetrieben werden. Untersuchungen sind notwendig der Methoden zur kontinuierlichen Beseitigung von Spaltprodukten, u. a. durch Verwendung von flüssigen Brennstoffen (z. B. geschmolzene Uransalze) und von Mantel-Werkstof-

fen. Es müssen zum Brüten bestimmte Versuchsreaktoren gebaut und in Betrieb genommen werden. Man hofft, das Programm in den nächsten Jahren in ein Stadium zu bringen, in welchem die Inbetriebnahme von Prototypen angebracht wäre.

Die für den Uran-Plutonium-Zyklus notwendigen schnellen Brüter unterscheiden sich hingegen völlig von den heute eingesetzten thermischen Reaktoren. Zu ihrer Entwicklung sind verstärkte Anstrengungen notwendig. Die Untersuchung wahrscheinlich geeigneter Brennstoffarten wie beispielsweise die Karbide muß energisch weitergeführt werden. Das Programm zur Nutzbarmachung des Plutoniums müßte auf das Programm für schnelle Brüter abgestimmt sein. Wirtschaftliche Methoden für den Umgang mit diesem schwierigen und gefährlichen Metall sowie für seine Herstellung müssen geschaffen werden. Verbesserungen in der Wärmeabführung können bei schnellen Brütern von sehr großer Bedeutung sein. In nächster Zeit müssen weitere Versuchsreaktoren für die üblichen Zwecke unter besonderer Berücksichtigung der Steuerungs- und Sicherheitsprobleme gebaut werden. Es besteht die Hoffnung, das Stadium betriebsfähiger Prototypen gegen Ende dieses oder Anfang des nächsten Jahrzehntes zu erreichen.

Bei günstigen Verhältnissen und angemessenen Anstrengungen könnten praktische und wirtschaftliche Brutreaktoren in voller Größe in den Jahren um 1980 geschaffen werden. Gelingt das, so müssen zweckdienliche Schritte für ihren Bau und Einsatz getroffen werden.

Ein mögliches Bauprogramm

Ein mehrschichtiges Bauprogramm für etwa die nächsten 12 Jahre (Bundes-Haushaltsjahre 1964 bis 1975) könnte folgendes umfassen: (1) Bau und Inbetriebnahme von 7 bis 8 stromerzeugenden Prototyp-Reaktoren, etwa die Hälfte neuzeitlicher Konverter und die übrigen als Brüter. Ihre Kosten würden wahrscheinlich größtenteils von der AEC zu tragen sein. (2) Unterstützung der Industrie beim Bau von 10 bis 12 vollmaßstäblichen Kraftwerken, deren Konstruktion dem Baubeginn entsprechend laufend verbessert würde; hierbei wird gehofft, daß die Industrie die Baukosten weiterer

Kraftwerke bewährter Konstruktion voll trägt.

Dieses Bauprogramm würde selbstverständlich durch andere Entwicklungsprogramme gestützt, deren Grundlagenforschung speziell auf neuzeitlichere Reaktortypen, insbesondere Brüter, abgestellt ist oder deren Gegenstand allgemeine Sicherheitsprobleme sind.

Als Förderungsmaßnahme für den Bau großer Kraftwerke durch Versorgungsbetriebe wurde - zusätzlich zur Forschungs- und Entwicklungsunterstützung und dem zeitweiligen Verzicht auf Brennstoffgebühren - kürzlich das Angebot gemacht, daß die Konstruktionskosten für Brennstoffanlagen von 400 Megawatt und darüber rückerstattet werden. Diese Vergünstigungen können sowohl von öffentlichen [1] und privaten Energieunternehmen in Anspruch genommen werden. Wir hoffen, daß diese Förderungsmaßnahmen ausreichen, um die Zahl der vollmaßstäblichen Kraftwerke wesentlich zu erhöhen. Sollte dies nicht eintreten, müßten noch interessantere Anreizformen oder andere Möglichkeiten gesucht werden, mit denen der Bau solcher Großanlagen mit Sicherheit herbeigeführt werden kann. Wenngleich wenige Beispiele ausreichen dürften, um das Programm zum Anlaufen zu bringen, müssten in späteren Jahren vielleicht Anreizmöglichkeiten geboten werden, um die Industrie zum Bau neuer und verbesserter Reaktortypen zu bewegen, die ihr Leistungsvermögen noch nicht unter Beweis stellen konnten. Unter Umständen wäre ein Programm von lohnenden Anreizmöglichkeiten aufzustellen, das den Einsatz zur gegebenen Zeit von Brutreaktoren begünstigt, sobald diese in ein Stadium der Betriebsreife gelangt sind.

Bei den zur Demonstration gedachten Prototypen ist die Lage anders. Ihr Hauptzweck ist, neue und unerprobte Systeme, die in dem erreichten Entwicklungsstadium und bei der gegebenen Kapazität gewöhnlich nicht konkurrenzfähig sind, unter tatsächlichen Praxisbedingungen zu erproben. Zur optimalen Erreichung dieses Zieles sollten diese Prototypen unter der fachlichen Leitung der AEC entwickelt werden. Der Hauptteil oder ggf. alle

---

1) Hierbei wird eingeräumt, daß nur wenige öffentliche Versorgungsbetriebe, die nicht zum Bund gehören, Anlagen von 400 Megawatt oder darüber benötigen. Die Wasser- und Energiekommission der City of Los Angeles hat indes ihr starkes Interesse an diesem Angebot bekundet.

Kosten des eigentlichen Reaktors werden je nach Kosten, Entwicklungsaussichten und Wettbewerbsniveau gewöhnlich von der Kommission getragen. Wir meinen, daß solche Vorhaben einer Beteiligung durch Versorgungsbetriebe der öffentlichen Hand, wie im Fall der "zweiten Runde", und privater Versorgungsbetriebe, wie im Fall Shippingport, zugänglich sein sollten. Bei einigen weit fortgeschrittenen Prototypen könnte es am zweckmäßigsten sein, wenn die Kommission die Anlage auf regierungseigenem Gelände bauen und betreiben würde und den Strom für den Eigenbedarf benützte.

ERGÄNZENDE TECHNISCHE PROGRAMME

In einen früheren Abschnitt beschrieben wir die verschiedenen Reaktorsysteme, die in angemessener Zeit Aussicht auf wirtschaftliche Erzeugung von Kernenergie bieten. Im vorliegenden Abschnitt werden wir kurz auf die ergänzenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten eingehen, welche die Voraussetzung für den Erfolg und die Entwicklung von verbesserten Systemen in der Zukunft bilden. Desgleichen beschreiben wir hier die sehr wichtigen Sicherheitsprogramme und deren Einfluß auf die Reaktor-Standortwahl sowie das Programm, das sich mit der Behandlung der beim Reaktorbetrieb anfallenden Spaltprodukte befaßt.

Allgemeine technische Grundlagen

Die allgemeine technische Grundlagenforschung wird energisch vorangetrieben, hierbei sind ungewöhnliche Probleme zu bewältigen. Für den Reaktor selbst müssen Brennstoffsysteme, Moderatoren und Kühlstoffe gefunden werden, die über lange Zeiträume bei hohen Temperaturen und in Bereichen intensiver Strahlung miteinander verträglich sind, gleichzeitig aber geringste Neutronenverluste durch Absorption und gute Wärmeleitung gestatten. In schnellen Reaktoren dürfen die Kühlstoffe, Bauwerkstoffe und die Brennstoff-Verdünnungsmittel allenfalls eine schwache Moderierungswirkung haben.

In diesen Richtungen sind überall große Fortschritte zu verzeichnen. Die wohl eindruckvollste Leistung ist die Schaffung vieler Arten von Brennstoffen und Brennstoffanordnungen, darunter: Metalle und Metallverbindungen, die in

fast foliendünnen Hülsen aus nichtrostendem Stahl oder anderen hochwertigen Metallen eingeschlossen sind; dünne Sandwich-Anordnungen, die in der Innenschicht einen legierten Brennstoff enthalten; Kügelchen mit dünnem Überzug, um möglichst große wärmeabgebende Flächen zu schaffen; einfache Brennstoffe ohne Überzug, z. B. Uran in Oxyd- oder Karbid, in einer Graphit-Matrix verteilt, sowie flüssige Brennstoffe, welche Spaltstoffe in Form einer Lösung oder eines Suspensionsschlammes oder einer Schmelzverbindung enthalten. Jede dieser Formen hat ihre Anwendungsmöglichkeiten und Aussichten. Die bei Kühlmitteln, Moderatoren und Bauwerkstoffen auftretenden gleichartigen Probleme sind keineswegs gering.

Schwierige Probleme sind auch im äußeren System gegeben, vor allem bei Einführung neuer Kühlstoffe. Pumpen, Wärmeaustauscher, Ventile und Rohrleitungen müssen das Kühlmittel vertragen und einen hohen Zuverlässigkeitsgrad besitzen. Wo eine Radioaktivität zu erwarten ist, besonders bei im Kreislauf fließenden Brennstoffen, bedarf es vieler Sicherheitsvorkehrungen.

Diese Entwicklungsarbeiten werden größtenteils im Labor und in Versuchsreaktoren ausgeführt, in welchen man die Wirkungen der Strahlung untersucht, indem man kleine Werkstoffproben, Brennstoffelemente in natürlicher Größe und ggf. auch Flüssigkeitskreisläufe einer langen Bestrahlung aussetzt.

Mehr am Rande, aber dennoch wichtig ist die Schaffung wirtschaftlicher chemischer Wiederaufbereitungsverfahren, mit welchen nützliche spaltbare und brütbare Substanzen aus gebrauchten Brennstoffanordnungen zurückgewonnen und Spaltprodukte herausgelöst werden; die letzteren sollen hierbei abgelagert bzw. beseitigt oder, in einigen Fällen, noch anderweitig verwertet werden.

Nicht übersehen werden darf die Entwicklung zuverlässiger Instrumente und Kontrollsysteme zur Überwachung des Reaktorbetriebes und zur Verhütung von unerwünschten Betriebszuständen.

Reaktorsicherheit: Standortprobleme

Es bedarf energischer Anstrengungen, um ein Höchstmaß an inhärenter Sicherheit von Reaktoranlagen einmal durch wohldurchdachte Konstruktion der Reaktoren selbst und andererseits durch Schutzvorkehrungen gegen unwahrscheinlich schwerwiegende Störungsfälle zu erreichen. In einem umfangreichen Programm läßt man Versuchsreaktoren absichtlich "durchgehen", um ihre Selbstüberwachungs-Vorrichtungen und das Ausmaß des bei deren Versagen eintretenden Schadens zu studieren. Die Konstruktion wirksamer Sicherheitsgefäße muß untersucht und im Hinblick auf mögliche Kostenverringerungen ausgebaut werden. Ständig muß untersucht werden die evtl. Ausbreitung von Spaltprodukten für den Fall, daß sie aus dem Reaktor und seiner Einschlußkammer nach draußen gelangen.

Der Erfolg solcher Lösungen hat wirtschaftlich große Tragweite weit über die Anlagenkosten hinaus: Solange keine ausreichenden Erfahrungen gesammelt und die Sicherungen nicht hinreichend erprobt sind, zwingt uns die Vorsicht, große Reaktoranlagen weit von den Bevölkerungszentren entfernt zu errichten. Dadurch werden die Kosten des Hochspannungsnetzes und die Leistungsverluste in den Leitungen vergrößert. Ferner wird dadurch die Wahl der Standorte eingeschränkt, von denen es für Großkraftwerke, in Anbetracht des Kühlwasserbedarfes, ohnehin nicht viele gibt.

Es genügt aber nicht, die Entwicklungen energisch voranzutreiben und ein Höchstmaß an Sicherheit zu erreichen, vielmehr muß eindeutig nachgewiesen werden, daß die gewünschten Ergebnisse auch tatsächlich erzielt wurden. Ein derartiger Nachweis dürfte letztlich in dem Beweis durch tatsächlichen Betrieb zu suchen sein. Durch Zusammentragen reichlicher Betriebserfahrungen für statistische Ermittlungen ließen sich viele subjektive Elemente aus der noch heute verlangten Sicherheitsbeurteilung beseitigen. Im Zuge angemessener technischer Verbesserungen und der Sammlung ausreichender Erfahrungen dürfte es möglich sein, viele der heute geltenden Sperrvorschriften für die Standortwahl allmählich abzubauen.

Für den sicheren Einschluß ist u. a. die Möglichkeit wertvoll, die Anlage unterirdisch zu bauen. Die hierbei auftretenden technischen Probleme sind

lösbar und die Kosten würden, bei vielen Standorten zumindest, kaum, wenn überhaupt, sich von überirdischen Anlagen mit wirksamen Sicherheitseindämmungen unterscheiden. Die tiefgelegte Anordnung hätte, neben dem völlig sicheren Einschluß, den besonderen Vorteil, das Kraftwerk gegen einen nuklearen Angriff in recht beträchtlichem Maße zu schützen.

Abfallbeseitigung

Mit dem Wachsen der Atomenergieindustrie gewinnen auch zwei Probleme der Abfallbeseitigung mehr und mehr Bedeutung: Einerseits die Wegschaffung oder Konzentration großer Abfallmengen mit niedriger Aktivität und andererseits die endgültige Ablagerung konzentrierter, hochgradig radioaktiver Abfallstoffe.

Solange man mit nuklearen Materialien in nur geringem Umfange zu tun hatte, konnten die nur sehr schwache spezifische Aktivität aufweisenden Abfälle ohne übermäßige Erhöhung des Raumstrahlungsniveaus in die Umgegend abgeleitet werden. Die Freizügigkeit einer derartigen Beseitigung könnte u. U. künftig mehr und mehr eingeengt werden, einmal wegen der schnell zunehmenden Mengen und zweitens, weil die für die Umgebung tragbaren Grenzen herabgesetzt worden sind. Infolgedessen muß im Rahmen der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zum Problem der Abfallhandhabung beschleunigt an verbesserten und wirksameren Methoden gearbeitet werden, mit denen große Volumina schwach aktiven Abfalls entgiftet und die herausgelösten radioaktiven Substanzen konzentriert werden können. In einem Nachbarbereich müssen die Untersuchungen der Umgebungsbedingungen weiter unterstützt werden, um (1) das endgültige Verhalten spezifischer Radionuklide in Land-, Wasser- und Luftumgebungen zu ergründen und (2) fachlich angemessene Kriterien für die sichere Ableitung von sehr schwach radioaktiven Abwässern in die Umgebung festzulegen. Programme dieser Art müssen und werden energisch vorangetrieben.

Ebenso wichtig ist das Programm, mit welchem Methoden zur endgültigen Lagerung bzw. anderweitigen sicheren Beseitigung konzentrierter hochaktiver Abfälle bereitgestellt werden sollen. Technisch ist dieses Problem lösbar, die Kosten sind indes nicht genau bekannt. Nach dem derzeitigen

bar, die Kosten sind indes nicht genau bekannt. Nach dem derzeitigen Verfahren werden solche Abfälle zu trägen, wasserunlöslichen Festformen verwandelt, in korrosionsfeste Behälter eingehüllt und in geeigneten, stabilen und trockenen geologischen Formationen, z. B. Salzstätten oder in anderen als sichere Aufnahme geeigneten Medien gelagert. Dieses Verfahren müßte in Bälde aus dem Forschungsstadium heraus bis zum Nachweis in der Versuchsanlage und der praktischen Erprobung weiterentwickelt werden. Neben dem Entwicklungsprogramm für die eigentlichen Reaktoren gibt es keine andere Phase im gesamten Programm, die wichtiger als die der Abfallbeseitigung wäre.

Die im Reaktorbetrieb anfallenden Spaltprodukte haben auch eine positive Seite. Einige sind äußerst nützlich als Kernstrahlungsquellen für wissenschaftliche, medizinische, landwirtschaftliche und industrielle Zwecke. Andere wiederum können als Wärmequellen nützlich sein und kleine Mengen elektrischer Energie in Satelliten oder in weit entlegenen, unzugänglichen Anlagen wie Bojen und automatischen Wetterstationen erzeugen, welche Daten über Funk übertragen. Es sind umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten hinsichtlich der Verwertung und der Verpackungsmethoden im Gange, letztere in engem Zusammenhang mit ähnlich gearteten Bestrebungen zur Abfallbeseitigung.

RECHTLICHE, FINANZIELLE UND ADMINISTRATIVE ANGELEGENHEITEN

Der Erfolg des Programmes und vor allem seine Aufnahme bei der Industrie dürften in starkem Maße durch Entscheidungen beeinflußt werden, die in verschiedener rechtlicher, finanzieller und verwaltungsmäßiger Hinsicht zu treffen sind und die sich beziehen auf (1) nukleare Materialien; (2) Förderung der Zulieferindustrien; und (3) Lizenzierung und Erlaß von Vorschriften, u. a. auch Gesichtspunkte für Reaktor-Standortwahl.

Maßnahmen betreffend Kernsubstanzen

Eigentum von speziellen Kernmaterialien: Eingehend erwogen wurde, inwieweit es erwünscht ist, die bisherige Rechtsvorschrift aufzuheben, nach welcher spezielle nukleare Materialien Regierungseigentum sind. Diese Politik wurde ursprünglich als eine Schutzmaßnahme in die Wege geleitet, um zu vermeiden, daß solche Materialien widerrechtlich für militärische Zwecke verwandt würden. Obwohl dieser Grund weiterhin Gewicht hat, sind wir der Auffassung, daß die Vorschriften und Kontrollen z. Zt. hinreichenden Schutz bieten.

Das derzeitige System hat für die Industrie sowohl Vorteile als auch Nachteile. Das Regierungsmonopol unterwirft die Industrie in Bezug auf die zum Reaktorbetrieb elementarsten Materialien einer regierungsseitigen Kontrolle und Preisbildung. Ferner sind diesbezügliche politische Maßnahmen für die Industrie nicht im voraus ersichtlich und schaffen Ungewißheiten. Die Energieindustrie genießt andererseits unter dem derzeitigen System bestimmte Vorteile, da (1) die den Leih- und Abbrandgebühren für angereichertes Uran zugrunde gelegten Kosten, dank der großen regierungseigenen Anreicherungsanlage, niedriger sind, als sie bei industrieseitiger Anreicherung auch nach vielen Jahren sein würden; [1] (2) der Leihgebührensatz für den Brennstoffbestand unter den Transportkosten bei Privatfinanzierung liegt; und (3) ein Energiebetrieb nicht die für den Brennstoffbestand erforderliche große Kapitalsumme zu dem Zeitpunkt aufzubringen braucht, zu welchem er die Mittel eines teueren Kernkraftwerkes bereitstellen muß.

Ein privates Eigentum gestattende Änderung wäre ein Schritt, durch welchen die natürlichen Gesetze von Angebot und Nachfrage an Stelle der von der Regierung überwachten Preisbildung und Verfügbarkeit treten könnten. Bei den im Reaktor erzeugten Substanzen, Plutonium und Uran-233, könnte der Schritt ganz vollzogen werden; die Preise für diese Produkte würden sich auf natürliche Weise einpendeln und es würde eine Ursache für Verzerrungen auf diesem technischen Gebiet beseitigt. Erschwerend hierbei wäre aller-

1) Ein entgegengesetzt wirkender Faktor ist, daß die AEC derzeitig verpflichtet ist, Rohuran zu Preisen zu kaufen, die etwas über denen des freien Marktes liegen.

dings, daß die Regierung einen de facto, wenn auch nicht gesetzlichen, Monopoleinfluß - zumindest noch über geraume Zeit - auf die Erzeugung angereicherten Urans-235 ausüben und damit den Preis dieses grundlegenden und am meisten gebrauchten Materials festlegen würde. Die Lage wäre deshalb so, daß privates Eigentum zwar gestattet würde, aber keine freie unternehmerische Entfaltung möglich wäre.

Der Regierung käme ein Privateigentum insofern zugute, als sie sich dem Zwang entziehen könnte, schnell anwachsende Vorräte von Materialien als Eigentum zu halten, die von Dritten benutzt werden. Damit könnten Investitionen, die sich schließlich auf viele Milliarden Dollar belaufen, vermieden werden.

Bei Abwägung aller Für und Wider handelt es sich um einen Schritt, der getan werden sollte; wir haben deshalb empfohlen, Gesetze zu erlassen, welche privates Eigentum dieser Materialien gestatten. Zur Vermeidung plötzlicher Änderungen empfehlen wir aber, das Eigentumsverhältnis innerhalb der rund nächsten 10 Jahre noch nicht obligatorisch zu machen, damit die Industrie Zeit zu den erforderlichen Umstellungen hat. In der Zwischenzeit werden wir unsere Preise dem reellen Wert der Materialien angleichen.

Gebührenpflichtige Anreicherung: Eine weitere, in Betracht zu ziehende Maßnahme ist die Einführung einer gebührenpflichtigen Anreicherung (toll enrichment). Wäre diese vorhanden, so könnte die Industrie ihre Rohstoffe auf dem freien Markt kaufen, sie in privaten Anlagen zur Anreicherung vorbereiten und brauchte die Regierung nur in Bezug auf die eigentliche Anreicherungsbehandlung in den Diffusionsanlagen in Anspruch zu nehmen. Da Kapazität reichlich vorhanden ist und die Kommission diesen Dienst bisher zu Selbstkosten geleistet hat, könnten der Industrie ausreichende Mengen zu Preisen garantiert werden, in welchen die verbleibende regierungsseitige Kontrolle relativ klein, hinreichend stabil und vorhersehbar sein wird. Unter der Voraussetzung, daß privates Eigentum tatsächlich ermöglicht wird, sollte dieser Schritt zu einem Dienst für gebührenpflichtige Anreicherung mit entsprechenden An- und Verkaufsvereinbarungen oder

einer Alternativregelung bestimmt getan werden. Ein solcher Schritt würde selbstverständlich Einfluß auf die künftigen Maßnahmen der AEC zur Beschaffung von Uran haben. Ein eingerichteter Anreicherungsdienst sollte auch unseren Freunden im Ausland zur Verfügung stehen, sofern entsprechende Sicherungen gegen Zweckentfremdung für militärische Ziele ergriffen werden.

Plutoniumpreise: Ein verwandtes Problem ist das der für geliehene Spezial-Kernmaterialien festgesetzten Werte, der von der Kommission für diese in privaten Reaktoren erzeugten Materialien gezahlten Preise und - sofern privates Eigentum zugelassen wird - der für solche Substanzen anzusetzenden Verkaufspreise. Heute entspricht der für ausgeliehenes angereichertes Uran eingesetzte Wert in etwa den Selbstkosten der Kommission, worin Gemeinkosten, Anlagenamortisierung usw. berücksichtigt sind. Wir beabsichtigen, so auch künftig zu verfahren. Bei U-235, dessen Preis in den letzten 18 Monaten zweimal gesenkt wurde, liegen die Grammwerte zwischen etwa 5 Dollar bei sehr schwacher Anreicherung und 12 Dollar für hoch angereichertes Material.

Die garantierten Preise für Plutonium (oder, da es obligatorisch in Regierungshand ist, genauer gesagt die ermittelten Preise), die kraft Gesetz auf einen "dem Verwendungszweck angemessenen Wert" festgesetzt sind, waren mehreren Änderungen unterworfen. Über mehrere Jahre wurden sie nach einer gleitenden Skala, je nach Isotopengehalt, festgesetzt. In jüngerer Zeit wurde der Wert, unabhängig vom Isotopengehalt, auf Dollar 30/Gramm festgesetzt. Dieser Preis wird bis zum 30. Juni 1963 garantiert.

Die Kommission ist seit kurzem zu der Auffassung gelangt, daß der garantierte Grundpreis von diesem Zeitpunkt an dem Wert entsprechen solle, der sich in nächster Zeit für Plutonium als Reaktorbrennstoff ergibt. Für das durchschnittliche Reaktorprodukt in metallischer Form wird ein Preis von ca. Dollar 9,50/Gramm errechnet, wenn die Kosten von U-235 zugrunde gelegt werden und eine Verwendung des Plutoniums in thermischen Reaktoren angenommen wird. Wir sind der Auffassung, daß eine Preisstaffelung

nach Isotopengehalt in Erwägung gezogen werden sollte[1] und daß nach denselben Gesichtspunkten bei Plutoniumankäufen durch das Ausland verfahren werden sollte, das aus in den USA angereichertem Uran hergestellt würde.

Auf ähnlicher Grundlage würde der Wert von U-233 festgesetzt; auch hier könnte durchaus mit einer gleitenden Skala gearbeitet werden, da bei Vorhandensein von radioaktivem U-232 zusätzliche Transport- und Aufbereitungskosten entstehen.

Sofern man ein privates Eigentum zuläßt, könnte die Kommission noch eine Zeit lang einen Garantiepreis festsetzen, allerdings unterläge der das Material erzeugende Energiebetrieb keinem Zwang, es an die Kommission zu verkaufen, so daß der angebotene Preis einen Marktboden bilden würde. Dieser Preis würde vermutlich von Zeit zu Zeit nach dem Marktwert korrigiert.

Uran-Beschaffung: Durch eine sehr erfolgreiche Reihe von Vergünstigungen und Garantien in langfristigen Verträgen wurde die Urangewinnungs- und Aufbereitungsindustrie seit 1950 nahezu aus dem Nichts bis zu einer Stufe ausgebaut, auf welcher das Land heute autark ist und nicht von ausländischen Quellen abhängig sein muß. Diese Industrie hat sich bisher fast vollständig auf das militärische Programm gestützt. Da in neuen Waffen die nuklearen Materialien von aus dem Gebrauch gezogenen, veralteten Waffen verwertet werden können, läßt sich ein Rückgang des Bedarfes an neuem Uran für Waffenzwecke während des kommenden Jahrzehnts kaum vermeiden, selbst wenn die Abrüstungsverhandlungen nicht zu dem erhofften Erfolg führen sollten. Andererseits ergeben unsere Kernenergie-Planungen einen großen und schnell ansteigenden Bedarf an diesen Materialien in den Jahren nach 1970. Anfang der 1980er Jahre dürfte der Bedarf dem heutigen entsprechen oder ihn übersteigen. Es wird jedenfalls eine Zwischenzeit geringeren Bedarfes von etwa einem Jahrzehnt geben, dessen Mitte kurz nach 1970 liegen dürfte.

---

1) Pu 240 ist nicht spaltbar, jedoch brütbar. Infolgedessen stellt es eine verdünnende Substanz dar, welche den Brennwert des Materials herabsetzt.

Die derzeitigen Verträge mit den Uran-Gewinnungs- und -Aufbereitungsbetrieben, die bis Ende 1966 laufen, dürften bis zu jenem Zeitpunkt einen geringen Materialüberschuß ergeben. Unter Beibehaltung dieser Beschaffungsmengen bis in die Zeit verringerten Bedarfes würde der Überschuß erheblich anwachsen. Die Kommission steht deshalb vor der Frage, in welcher Weise sie die Uran-Industrie in der Zeit geringerer Nachfrage am besten unterstützen kann, ohne dabei einen zu großen Überschuß entstehen zu lassen. Daß sie am Leben gehalten wird, ist für die späteren Interessen des Landes von ausschlaggebender Bedeutung; eine leistungsstarke Industrie wird in dem späteren Zeitraum gebraucht, in welchem der kommerzielle Bedarf schnell zunimmt. Hätte die Uran-Bergbauindustrie keine Aussicht auf Marktstützung nach 1966, dann könnte sie außerdem dazu neigen, in den nächsten Jahren vorwiegend hochwertige Erze abzubauen und früher oder später die geringwertigen Bergwerke aufzugeben, was zur Folge hätte, daß erhebliche Mengen dieser lebenswichtigen Vorräte für immer verlorengingen.

Die Kommission hat sich daher dazu entschlossen, der Industrie ein "Streck"-Programm anzubieten. Als Anreiz wird die Zusage angeboten, nach dem 1. Januar 1967 weiteres Material anzukaufen, um einen Betrieb zu veranlassen, einen Teil des gegenwärtig in Auftrag gegebenen Urans erst nach diesem Zeitpunkt auszuliefern. Im Erfolgsfall würde das Programm eine Nivellierung bewirken, mit welcher die flaue Zeitspanne ohne wesentliche Schädigung der Industrie und ohne Ansammlung eines unverhältnismäßig großen Überschusses überstanden werden könnte.

Zuliefer-Industrien

Neben einer großen Ausrüstungs-Industrie verlangt ein umfangreiches Kernenergie-Programm den Aufbau einer Industrie für die Herstellung von Brennstoffen, nuklearen Instrumenten und Kontrollgeräten sowie für die chemische Aufbereitung gebrauchter Reaktorbrennstoffe zwecks Rückgewinnung von Kernsubstanzen aus Spaltprodukten und anderen Abfällen. Viele dieser Industrien haben sich bereits entwickelt, da sie klein anfangen konnten und Aufträge in erheblichem Umfang von der AEC erhielten. Sie sollten in jeder Weise vernünftig weiter gefördert werden. Die AEC sollte

ihnen im Rahmen gebotener Sparsamkeit soviele Aufgaben wie möglich übertragen und keinesfalls mit ihnen privatwirtschaftlich konkurrieren, allenfalls durch Hilfeleistungen, wo keine private Kapazität vorhanden ist.

Einen Spezialfall bildet die chemische Trennung benutzter Brennstoffe, die für die Industrie nur bei großem Umfang lohnend ist und die kein wirtschaftliches Betätigungsfeld bietet, solange nicht zivile Reaktoren schon über lange Zeit gearbeitet haben. Die Kommission, die auf Grund ihres Waffen-Programmes in ihren Anlagen über eine große Kapazität verfügt, hat diese Aufgaben bisher selbst durchgeführt. Der Privatindustrie wird nachdrücklich nahegelegt, sich auf diesem Gebiet zu betätigen, Aussichten dafür sind vorhanden. In diesem Sinne hat die AEC unverbindlich ihre Bereitschaft erklärt, soviele Aufträge zu erteilen, daß ein mittelgroßes privates Industriewerk 100 Tage pro Jahr ausgelastet wäre. Wir sind der Auffassung, daß die Kommission, sobald eine ausreichende Anlagenkapazität bei der Industrie vorhanden ist, sich von diesen der Industrie zukommenden Aufgaben zurückziehen und die Privatwerke zur Deckung ihres Eigenbedarfes in Anspruch nehmen sollte; der Bedarf an Materialien für Waffen sollte vielleicht hiervon ausgenommen sein.

Lizenzierung und Vorschriftenerlaß

Es werden z. Zt. Schritte eingeleitet, um die Verfahren der Lizenzvergabe und die Vorschriften zu vereinfachen. Ein wesentlicher Schritt in dieser Richtung war vor kurzem der Erlaß eines Gesetzes, durch welches die Zahl der obligatorischen öffentlichen Verhandlungen erheblich reduziert wird. Die Kommission prüft Möglichkeiten, ihr eigenes Lizenzvergabeverfahren durch Reduzierung der administrativen Arbeitsgänge zu vereinfachen.

Ferner prüft die Kommission, in welcher Weise die derzeitigen Vorschriften so abgeändert werden könnten, daß die Energie-Unternehmen hinsichtlich der Eignung bestimmter Reaktor-Standorte vor Einsatz großer Kapitalmittel besser orientiert würden.

Man wird sich künftig bemühen, die Zahl der vorgeschriebenen technischen Überprüfungen zu verringern und die Überprüfungen auf die Aspekte zu konzentrieren, die sich auf öffentliche Gesundheit und Sicherheit auswirken könnten. Mit zunehmender Vereinheitlichung der Reaktoren wird diese Aufgabe leichter. Durch Verlagerung der Verantwortung auf den Konstrukteur wird dieser in die Lage versetzt, sein wissenschaftliches und technisches Urteilsvermögen in größerem Umfange auszuüben. Mit dem Ausbau der Normung von Reaktoren können den Herstellerfirmen Merkblätter an die Hand gegeben werden mit Angaben hinsichtlich des gewünschten Umfanges und Inhaltes der Berichte, Sicherheitsmeldungen und technischen Angaben; hierdurch können die Güte der Berichte verbessert und ihre Kosten verringert werden.

Sobald genügend Daten für eine statistische Untersuchung der Wahrscheinlichkeit und möglichen Folgen von Versagern in den Anlagen vorhanden sind, können wir die wirtschaftliche Bedeutung spezieller Sicherheitsvorrichtungen besser beurteilen und eine Verringerung ihrer Kosten anstreben.

MÖGLICHE AUSWIRKUNGEN DES KERNENERGIE-PROGRAMMES AUF DIE INDUSTRIE

Bei einem Übergang der in diesem Bericht vorgeschlagenen Art ist ein wichtiger Gesichtspunkt, welche Auswirkungen er auf verschiedene Industriezweige haben könnte. Wir haben bereits von der Befürchtung gesprochen, die vorhandene Kernindustrie könnte Schaden erleiden, falls der Bau großer Kernkraftwerke nicht etwas beschleunigt wird. Die Stärkung dieser Industrie im Zuge einer solchen Beschleunigung würde nicht nur die Aussichten auf Kernenergie verbessern, sondern auch unsere allgemeine technische und industrielle Grundlage verstärken und uns vor allem mehr Elastizität und Leistungsfähigkeit beim Bau von Reaktoren vermitteln, die für andere Zwecke wie Verteidigung und Raumfahrt-Programm benötigt werden.

Angesichts der Zuwachsrate des Gesamtenergiebedarfes steht fest, daß bei einer auch noch so großen Beschleunigung der Entwicklung im Bereich

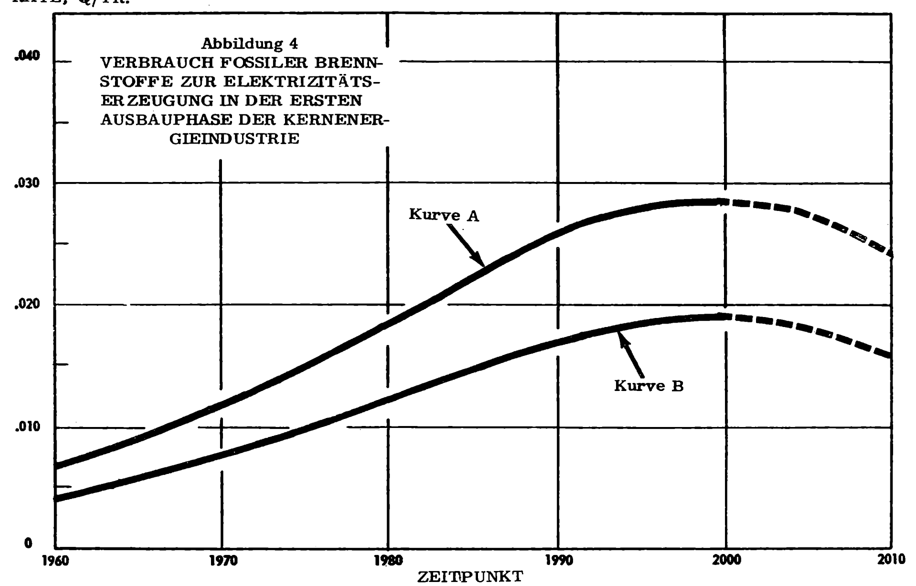
der Kernenergie-Ausrüstungen keine Verschiebungen in der Ausrüstungs-Industrie für konventionelle Energie zu befürchten sind. Ein Großteil der Gesellschaften auf dem Gebiet der Kernenergie stellt übrigens auch konventionelle Energieausrüstungen her.

KOHLE- UND TRANSPORT-INDUSTRIE

Es sind Bedenken ausgesprochen worden, ob die Umstellung auf Kernenergie nicht schwere Verlagerungen in der Kohleindustrie und somit im Verkehrswesen, vor allem bei den Eisenbahnen, verursachen würde. Dies ist bestimmt nicht der Fall.

Aus den Darlegungen weiter oben und aus den Kurven der Abb. 3 war ersichtlich, daß selbst bei einer Versorgung der gesamten Energieindustrie durch Kernkraftwerke kein Mangel an Absatzmöglichkeiten für fossile Brennstoffe entstehen würde. Nur wenn sich auch andere Industrien unerwartet auf Kernenergie umstellen sollten, würde eine schnelle Ausweitung dieser Märkte verlangsamt. Ferner wächst die Elektrizitätsindustrie selbst so schnell, daß sie auch bei noch so schnellem Wachsen von Kernkraftwerken daran gehindert werden könnte, noch über mehrere Jahrzehnte immer größere Mengen an fossilen Brennstoffen zu verbrauchen - ja sogar solange nicht, bis die absolute Wachstumsrate der Kernenergie die Höhe des Gesamtbedarfes erreicht. Zu diesem Zeitpunkt aber wird der Verbrauch an fossilen Brennstoffen allein zur Elektrizitätserzeugung ein Mehrfaches des heutigen Verbrauches sein. Dieser Verbrauch wird durch Kurve A in Abb. 4 veranschaulicht unter Zugrundelegung der Vorhersagen der Bundes-Energiekommission bezüglich des Elektrizitätsverbrauches (bis zum Jahre 2000) und unserer Schätzungen der, in Abb. 3 veranschaulichten, Kernenergie-Zuwachsrate.

Die Befürchtungen der Kohleindustrie haben im wesentlichen ihren Ursprung in zwei Faktoren. Merkliche Steigerungen des Wirkungsgrades, besonders bei der Energieerzeugung, haben in den ersten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts zu einer Verringerung der für eine zu bewältigende Arbeit ver-



KURVE A stellt den Verbrauch fossiler Brennstoffe zur elektrischen Energieerzeugung dar. Sie wurde ermittelt aus dem Gesamtenergiebedarf für die Elektrizitätserzeugung durch Subtraktion unserer Schätzwerte für Kernkraft-Elektrizität und der von der Bundes-Energie-Kommission geschätzten Elektrizitätserzeugung mittels Wasserkraft.
KURVE B zeigt den Brennstoffverbrauch von Dampfkraftwerken mit Kohlefeuerung, wobei vorausgesetzt ist, daß die Kohle ihren derzeitigen Anteil der zur Stromerzeugung verbrauchten fossilen Brennstoffe beibehält.

brauchten Brennstoffmenge geführt. Obwohl Wirkungsgrade noch weiter verbessert werden können, kann sich eine Steigerung nicht mehr so stark auswirken.

In jüngerer Zeit war der Rückgang im Kohleverbrauch in der Hauptsache darauf zurückzuführen, daß Absatzmärkte an andere Formen fossiler Brennstoffe verlorengingen. Während der vergangenen 15 Jahre ist der jährliche Kohleverbrauch von 550 Millionen Tonnen auf 375 Millionen Tonnen zurückgegangen, obschon der Kohleverbrauch in der Elektrizitätserzeugung von 86 Millionen auf 180 Millionen Tonnen anstieg.[1] Der Rückgang hatte seine Ursache in der nahezu Totaleinbuße des Eisenbahnmarktes und in anderen schweren Verlusten bei der Produktionsgüterindustrie und der Wohnungsheizung. Dies hat dazu geführt, daß die Elektrizitätsgesellschaften, die 1947 nur annähernd 60 % der gesamten Kohle verbrauchten, im Jahre 1961 nahezu die Hälfte verbrauchten. Auch wenn die anderen Verluste anhalten sollten (viele Absatzmärkte sind so dahingeschwunden, daß es nicht mehr viel zu verlieren gibt), wird der Bau weiterer Kraftwerke den Verlust sicherlich mehr als ausgleichen.

Im Jahre 1960 haben die Heizkraftwerke in den Vereinigten Staaten 66 % ihrer Energie aus Kohle gewonnen, 26 % aus Gas und 8 % aus Öl. Diese Zahlen sind etwa 10 Jahre lang auf 2 oder 3 % genau konstant geblieben, wobei sich der Kohleverbrauch wenig geändert hat und der Gasverbrauch auf Kosten des Öles leicht angestiegen ist. Angesichts der im Vergleich zu Öl und Gas riesigen Kohlereserven sowie der Tatsache, daß Öl und Gas für andere Zwecke vorgezogen werden, erscheint es als gewiß, daß der mit Kohle erzeugte Anteil der elektrischen Energie innerhalb einer relativ kurzen Zeit merklich zunehmen wird. Diese Tendenz wird noch verstärkt durch die großen und erfolgreichen Anstrengungen der Kohleindustrie zur Verringerung der Beförderungskosten und durch den Trend zu großen Zentral-Kraftwerken, die in vielen Fällen in Nähe der Kohlevorkommen errichtet werden können. Die Wahrscheinlichkeit dieses Trends bestätigt sich an der Tatsache, daß die Preise für Gas, dem Hauptkonkurrenten der Kohle, in

---

1) Die statistischen Angaben in diesem Abschnitt wurden uns vom U.S. Innenministerium zur Verfügung gestellt.

den letzten 8 Jahren um 40 % gestiegen sind, während die durchschnittlichen Kohlepreise für Energiebetriebe um etwa 20 % (bei gleichbleibenden Dollarwert) gesenkt wurden.

Kurve B in Abb. 4 veranschaulicht den anteiligen Kohleverbrauch zur Elektrizitätserzeugung, während die Werte der Kurve A den Gesamtverbrauch aller fossilen Brennstoffe für die Energieerzeugung bei Zugrundelegung der heutigen Anteilsverteilung darstellen. Hieraus ist ohne weiteres ersichtlich, daß die Kohle zwar ihren Anteil nicht vergrößerte, daß aber eine sehr starke Zunahme im Kohleverbrauch dennoch eintreten würde. In der Tat würde der Verbrauch allein für diesen Zweck gegen 1970 den heutigen Gesamtverbrauch an Kohle übertreffen. Dieser Anstieg würde etwa 40 Jahre oder noch länger anhalten und, auch nach unseren Annahmen, nicht vor Erreichen der nächsten Jahrhundertmitte, wenn überhaupt schon, auf die heutigen Werte zurückgehen. Lange vor dieser Zeit würden die schwindenden Öl- und Gasvorräte anderer Industrien zu größerem Kohleverbrauch zwingen; Kohle und Kohleerzeugnisse würden dann Märkte wiedergewinnen, die sie verloren hatten. Tatsächlich ist unsere Sorge nicht, wie eingangs dargelegt wurde, daß der Kohlebedarf zu gering ist, sondern vielmehr so groß ist, daß unsere Vorräte zu schnell erschöpft sein werden.

ANHANG

INFORMATIONSQUELLEN

Bei der Zusammenstellung des vorliegenden Berichtes wurden u.a. die nachstehenden, in jüngerer Zeit veröffentlichten Quellen benutzt:

"Report of the National Fuels and Energy Study Group on an Assessment of Available Information on Energy in the United States," a September 21, 1962 study prepared for the Committee on Interior and Insular Affairs of the United States Senate.

U.S. Geological Survey Bulletin 1136, 1961, "Coal Reserves of the United States - A Progress Report, January 1, 1960," by Paul Averitt.

"Appraisals of Future Nuclear versus Conventional Electric Power Costs by Leading Industry and Government Organizations Released by the Joint Congressional Committee on Atomic Energy," press release No. 368 from the Office of the Joint Congressional Committee on Atomic Energy. The release is dated July 30, 1962.

"Development, Growth, and State of the Atomic Energy Industry," Hearings before the Joint Congressional Committee on Atomic Energy on March 20, 21, and 23, 1962.

"Report of the Advisory Committee on U.S. Policy Toward the International Atomic Energy Agency," a May 19, 1962 report of an Advisory Committee Appointed by the Department of State.

"Report of the Ad Hoc Committee on Atomic Policy," a March 1962 report of the Atomic Industrial Forum.

"Report to the Panel on Civilian Technology on Coal Slurry Pipe Lines," a May 1962 report of Department of the Interior.

"Steam-Electric Plant Construction Cost and Annual Production Expenses, Thirteenth Annual Supplement, 1960, FPC-S-149" Federal Power Commission.

"Steam-Electric Plant Factors, 1961," Twelfth edition, July 1962, National Coal Association.

Bei der Ausarbeitung des vorliegenden Berichtes wurden ferner auch folgende Berichte und Mitteilungen herangezogen:

"Supplies, Costs, and Uses of the Fossil Fuels," a June 29, 1962 report prepared for the Atomic Energy Commission by the Department of the Interior Energy Policy Staff. (Some information in this report was updated subsequently and informally by the Department of the Interior.)

A letter report of June 8, 1962 to the Atomic Energy Commission from Joseph C. Swindler, Chairman, Federal Power Commission.

"Summary Report on Natural Resources," an August 1962 draft of a report being prepared by the Committee on Natural Resources of the National Academy of Sciences.

"Energy Resources," a draft report prepared by a panel of the National Academy of Sciences Committee on Natural Resources.

"A Comparison of the Nuclear Defense Capabilities of Nuclear and Coal-fired Power Plants," BNL-6080, a May 1962 report prepared by members of the staffs of Brookhaven and Oak Ridge National Laboratories, assisted by the architect-engineer firms: Burns and Roe, and Sargent and Lundy.

A draft of "Economics of Permanent Disposal of Power Reactor Wastes in Tanks" by Stockdale, Arnold, and Blomeke. This report is expected to become available as ORNL-2873 in a few months.

Am Sitz der Atom-Energie-Kommission wurden Seminare zum Thema Kernenergie für den Zivilbedarf abgehalten, um der Kommission und ihrem Stab möglichst neue Angaben zu verschaffen. Vertreter von Auftragnehmer-Organisationen der AEC und andere lieferten eigene Beiträge über die Aussichten ziviler Kernenergie. Die Referate wurden durch Berater der Kommission ausgewertet: Mitglieder des Reaktor-Unterausschusses des Allgemeinen Beratenden Ausschusses nahmen an allen Seminaren teil, während die zum Stab der verschiedenen nationalen Laboratorien gehörenden Wissenschaftler und Ingenieure je nach Bedarf anwesend waren. Die Themen und Daten der einzelnen Seminare waren:

Siede- und Druckwasser-Reaktoren	19.-20. April 1962
Schwerwasser- und organisch gekühlte Reaktoren	26. April 1962
Gasgekühlte Reaktoren	4. Mai 1962
Reaktoren mit Flüssigmetallkühlung	9. Mai 1962
Plutonium-Wiederaufbereitung und Thorium-Nutzbarmachung	10. Mai 1962
Neuzeitliche Reaktorkonzeptionen	14. Mai 1962

Bei zahlreichen Berichten und Referaten wurde angegeben, daß sie Informationen enthalten, die Firmeneigentum sind. Mehrere Berichte waren an sich unvollständig und nur als Ergänzung des mündlichen Referates gedacht. Da sie nur zum Gebrauch der AEC und nicht zur Veröffentlichung bestimmt waren, werden sie nicht in diesem Anhang einzeln ausgewiesen. Diese Arbeiten haben uns jedoch bei unserer Aufgabe geholfen und wir danken an dieser Stelle für die Unterstützung.

Neben den in der Einführung erwähnten Besprechungen hatten die Mitglieder der Atom-Energie-Kommission und deren Personal im Verlaufe der Vorarbeiten zu diesem Bericht viele nützliche Gespräche mit Organisationen wie dem Atomindustrieforum und mit zahlreichen Einzelpersonen.

